



FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería de Minas

“DETERMINACIÓN DE UMBRALES DE ALARMA Y
VELOCIDAD DE COLAPSO, UTILIZANDO EL RADAR MSR
300 EN LA PARED NOR-ESTE DEL TAJO TAPADO OESTE
EN MINERA YANACOCCHA”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero de Minas

Autor:

Rosa Alexandra De La Cadena Julón

Maicol Ricardo Jambo Marchena

Asesor:

Ing. Daniel Alejandro Alva Huamán

Cajamarca - Perú

2019

DEDICATORIA

A mis padres, Berbelinda y Jesús, por haberme forjado como la persona que soy en la actualidad; muchos de mis logros se les debo a ustedes entre los que se incluyen este. Me formaron con reglas y algunas libertades, pero al final de cuentas, me motivaron constantemente para alcanzar mis anhelos.

Maicol Ricardo Jambo Marchena

Dedico a mis padres, Ana y Elard, y a mis hermanos Jhon, Andrea y Estefany, quienes fueron los que impulsaron a cumplir las metas y anhelos propuestos, por estar siempre a mi lado y apoyarme en mis decisiones.

Rosa Alexandra De La Cadena Julón

AGRADECIMIENTO

En primera instancia agradezco a mis formadores, personas de gran sabiduría quienes se han esforzado por ayudarme a llegar al punto en el que me encuentro. Sencillo no ha sido el proceso, pero gracias a las ganas de trasmitirme sus conocimientos y dedicación que los ha regido, he logrado importantes objetivos como culminar el desarrollo de mi tesis con éxito y obtener una afable titulación profesional

Maicol Ricardo Jambo Marchena

Gracias a Dios por permitirme tener y disfrutar a mi familia, gracias a mi familia por creer en mí y apoyarme en cada decisión y proyecto, gracias a la vida porque cada día me demuestro lo hermoso que es la vida y lo justo que puede llegar a ser. Gracias a la Empresa Minera Yanacocha por permitirme aceptarme como tesista, a los especialistas del área de geotecnia, el Ing. Eduardo García y el Ing. Dajalma Yopez por la confianza en brindarme y permitirme usar la información y el apoyo brindado. Muchas gracias a mi asesor externo Ing. Euler Paredes por dirigirme y permitirme cumplir con excelencia en el desarrollo de esta tesis.

Rosa Alexandra De La Cadena Julón

TABLA DE CONTENIDOS

DEDICATORIA.....	2
AGRADECIMIENTO	3
ÍNDICE DE TABLAS	5
ÍNDICE DE FIGURAS	6
ÍNDICE DE ECUACIONES.....	8
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	11
CAPÍTULO II. METODOLOGÍA	23
CAPÍTULO III. RESULTADOS	55
CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	69
REFERENCIAS.....	73
ANEXOS.....	76

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Recolección de datos, mediante técnica e instrumento	27
Tabla 2: Equivalencia de la confiabilidad	28
Tabla 3: Data exportada del Radar Reutech MSR 300- FALLA SHINGO	47
Tabla 4: Data trabajada para el análisis obtenida del Radar Reutech MSR 300 - FALLA SHINGO	48
Tabla 5: Data exportada del Radar Reutech MSR 300- FALLA SUBFASE	49
Tabla 6: Data trabajada para el análisis obtenida del Radar Reutech MSR 300- FALLA SUBFASE	50
Tabla 7: Tiempo inicial y tiempo medio del monitoreo-FALLA SHINGO	63
Tabla 8: Tiempo inicial y tiempo medio del monitoreo-FALLA SUBFASE	66

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Reporte de Accidentes Mortales en las Minas del Perú, Ministerio de Energía y Minas, Julio, 2019.....	12
Figura 2: Mega deslizamiento registrado en la mina Bingham Canyon	13
Figura 3: Perfil de la zona del deslizamiento y camiones sepultados.....	14
Figura 4: Ubicación del Tajo Tapado Oeste.....	15
Figura 5: Condiciones de desplazamientos	18
Figura 6: Tajo Tapado Oeste	24
Figura 7: Ubicación de la Falla Shingo y Subfase.....	25
Figura 8: Radar Reutech MSR 300.....	27
Figura 9: Desplazamiento Acumulativo (mm) vs Tiempo (días)- Falla Shingo.	29
Figura 10: Desplazamiento Acumulativo (mm) vs Tiempo (días)- Falla Subfase	30
Figura 11: Efecto del ángulo de incidencia de movimiento medido por el radar.....	33
Figura 12: Comparación de efecto geométricos para diferentes ubicaciones del radar.....	34
Figura 13: Datos de movimiento del radar superpuestos en el DTM que muestran el ángulo (θ) entre el desplazamiento real y el medido.	35
Figura 14: Radar Reutech MSR 300 ubicado en el Tajo Tapado Oeste	36
Figura 15: Cambio de fase y forma de cálculo de deformaciones del radar	37
Figura 16: Regiones de escaneo	38
Figura 17: Identificación de la falla Shingo como zona crítica.....	39
Figura 18: Identificación de la falla Subfase como zona crítica	39
Figura 19: Física I. Gráfica de desplazamiento, velocidad y aceleración.....	41
Figura 20: Desplazamiento acumulado vs tiempo.....	42
Figura 21: Desplazamiento incremental vs tiempo	43
Figura 22: Velocidades media, instantánea e incremental	46
Figura 23: Movimiento regresivo y progresivo.....	51
Figura 24: Perfil de movimiento de falla de pendiente genérica que muestra las etapas regresiva y progresiva	51
Figura 25: Identificación del movimiento Progresivo y regresivo- FALLA SHINGO.....	52
Figura 26: Identificación del movimiento Progresivo y regresivo- FALLA SUBFASE.....	53

Figura 27: Identificación del movimiento progresivo y regresivo- FALLA SHINGO y SUBFASE del radar Reutech MSR 300.....	54
Figura 28: Desplazamiento acumulativo vs el tiempo - FALLA SHINGO.....	55
Figura 29: Velocidad Incremental vs el tiempo - FALLA SHINGO	56
Figura 30: Histogramas de Velocidades Incrementales (mm/h) – Falla Shingo.	57
Figura 31: Velocidad Incremental (mm/h) vs el tiempo (h) seteado con los criterios de alarma-FALLA SHINGO.....	58
Figura 32: Anteriores umbrales de alarma en la pared Nor-Este del tajo.	58
Figura 33: Desplazamiento acumulativo (mm) vs el tiempo (h)- FALLA SUBFASE	59
Figura 34: Velocidad Incremental (mm/h) vs el tiempo (h)- FALLA SUBFASE	60
Figura 35: Velocidad Incremental (mm/h) vs el tiempo (h) seteado con los criterios de alarma-FALLA SUBFASE	60
Figura 36: Gráfica de velocidad promedio vs tiempo visualizado desde el monitor vinculado	62
Figura 37: Velocidad incremental (mm/h) vs el tiempo (h) –FALLA SHINGO.....	63
Figura 38: Velocidad de colapso hallado por el radar Reutech MSR 300 en la falla Shingo.	65
Figura 39: Gráfica de velocidad promedio vs tiempo visualizado desde el monitor vinculado	66
Figura 40: Velocidad incremental vs el tiempo –FALLA SUBFASE.....	66
Figura 41: Velocidad de colapso hallado por el radar Reutech MSR 300 en la falla Shingo.	68

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1: Velocidad	41
Ecuación 2: Diferencia de longitud o medidas.	42
Ecuación 3: Diferencia de longitud o medidas incrementales.	43
Ecuación 4 : Velocidad Media	44
Ecuación 5: Velocidad Instantánea.....	44
Ecuación 6: Velocidad Incremental.	45
Ecuación 7: Constante K.....	61
Ecuación 8: Línea semi-logarítmica	61
Ecuación 9: Velocidad en algún tiempo	61
Ecuación 10: Velocidad de Colapso	62

ÍNDICE DE ANEXO

Anexo 1: Certificado de Calibración-2016	76
Anexo 2: Certificado de Calibración-2017	76
Anexo 3: Fotografías del deslizamiento de la Falla Shingo.	78
Anexo 4: Fotografía del monitoreo de la Falla Shingo visualizado en el monitor de Dispatch.	79
Anexo 5: Fotografías del deslizamiento de la Falla Subfase.	80
Anexo 6: Fotografía del monitoreo de la Falla Subfase visualizado en el monitor de Dispatch.	81
Anexo 7: Fotografías de la ubicación de del Tajo Tapado Oeste- Minera Yanacocha.	81
Anexo 8: Fotografía de la Pared Nor-Este del tajo Tapado Oeste.	82
Anexo 9: Gestión del monitoreo geotécnico en Minera Yanacocha.	82
Anexo 10: Fotografías de las diferentes vistas del Radar Reutech MSR 300.....	83
Anexo 11: Alteraciones en el basamiento La Quinua (corte al nivel 3339).....	84
Anexo 12: Matriz de Consistencia	85
Anexo 13: Data Falla Shingo	86
Anexo 14: Data Falla Subfase.....	88
Anexo 15 : Constancia de uso de información de la DATA de colapsos del 2017 del área de Geotecnia de Minera Yanacocha.	90

RESUMEN

Con la presente investigación pretendemos interpretar el monitoreo geotécnico a consecuencia de la falla Shingo y la falla Subfase ocurridas en el tajo Tapado Oeste en la pared Nor-Este de Minera Yanacocha en el año 2017 con características de alteraciones argílicas y propílicas, analizando la data obtenida del radar REUTECH MSR 300, aplicando la metodología de Broadbent y Zavodni (1978-1982) basado en el tratamiento estadístico y back análisis de eventos geotécnicos para determinar la velocidad de colapso y obtener el modelo para determinar los umbrales de alarmas: crítica y geotécnica, las cuales son capaces de detectar un problema de inestabilidad y realizar el cierre del tajo Tapado Oeste. Este modelo es aplicado actualmente en el proceso operativo de explotación de los últimos años del tajo Tapado Oeste con la finalidad de garantizar la seguridad del personal y equipo para un desarrollo que garantice la operatividad del tajo.

En base a los datos obtenidos del Radar Reutech MSR 300 y observaciones in situ, se determinó las velocidades de colapso y los modelos de criterios de alertas en función a la velocidad y del tiempo.

Palabras clave: Umbrales de alarma, back análisis, tratamiento estadístico, método de Broadbent y Zavodni.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

Las minas a cielo abierto son cada vez más grandes y, a medida que se profundizan, aumenta la importancia de interpretar y controlar la estabilidad de taludes. Una falla en la pared no solo puede conducir a problemas de seguridad, sino también a pérdidas significativas debido a la interrupción de la producción, el trabajo de rehabilitación y las más graves pérdidas humanas. El desafío más grande en la explotación minera a cielo abierto es equilibrar la productividad con la seguridad y la vida humana dependiendo primordialmente de la precisa y oportuna predicción de las fallas en taludes. Olivares (2017) afirma que la presencia de discontinuidades o fallas en los macizos rocosos, generan que sus propiedades físicas y mecánicas sean anisótropas, heterogéneas y discontinuas, permitiendo que las fuerzas ejercidas den lugar a cambios en su condición mecánica de las rocas, produciendo una serie de consecuencias internas, como la transformación de su estado tensional, deformaciones y desplazamientos. (pag.17)

Es por estas razones, que actualmente, las entidades fiscalizadoras del Estado y las compañías auditoras exigen a las mineras, la instalación de más sensores y programas de monitorización que permitan proporcionar información del comportamiento de los taludes, detectando tempranamente probabilidades de falla e inestabilidad, evitando que los potenciales colapsos ocasionen víctimas mortales y pérdidas económicas.

Según el Ministerio de Energía y Minas (MEM, 2019) en el Perú desde el año 2000 hasta el 02 de Julio de 2019, se han reportado 1017 accidentes mineros mortales de los cuales el 36% corresponden a defectos geomecánicos o geotécnicos (Ver figura 1).

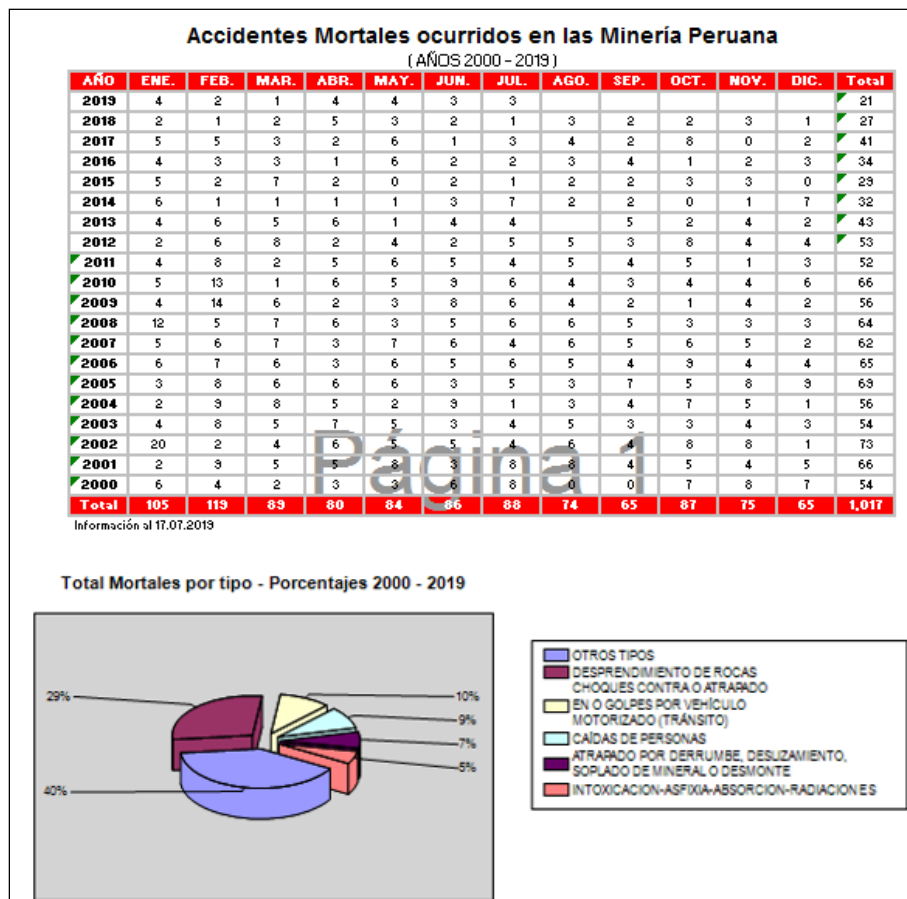


Figura 1: Reporte de Accidentes Mortales en las Minas del Perú, Ministerio de Energía y Minas, Julio, 2019

Fuente: Ministerio de Energía y Minas (2019)

En la actualidad el diseño de los taludes se base principalmente en el análisis de estabilidad, mediante la determinación del factor de seguridad. Olivares (2017) el factor de seguridad busca la condición de equilibrio de la superficie de rotura, por medio de métodos empíricos como la clasificación geomecánica, equilibrio límite y numéricos, no permitiendo ninguno de ellos tener 100% de certeza sobre el comportamiento y todos los parámetros geotécnicos del macizo rocoso, lo que genera incertidumbre y conlleva a aplicar probabilidades de falla, estas probabilidades indican

que algo fallará en algún momento, por lo que es indispensable prevenir mediante el monitoreo continuo de la estructura.

Los factores que producen inestabilidad de taludes en tajos abiertos son: influencia de aguas superficiales y subterráneas, actividades de perforación y voladura, condiciones de discontinuidades, efectos sísmicos y calidad del macizo rocoso. Por lo tanto, debido a estos riesgos a que está sometida la operación minera, se hace necesario el uso de monitoreo temprano permanente y continuo de taludes y su entorno a fin de identificar posibles focos de inestabilidad que puedan convertirse en potenciales colapsos. (Calderón, 2016, p.15)

El 11 de abril de 2013, en la mina Bingham Canyon, Utah, Estados Unidos, se registró el más grande deslizamiento, aproximadamente 100 millones de toneladas de material se deslizaron. Los sensores de monitoreo detectaron el evento en el mes de febrero donde se registraron velocidades de 2mm/día, mientras que al momento del evento se registró velocidades de 5 cm/día. Se presentaron pérdidas materiales de camiones de transporte de material.



Figura 2: Mega deslizamiento registrado en la mina Bingham Canyon

Fuente: IDS Georadar



Figura 3: Perfil de la zona del deslizamiento y camiones sepultados

Fuente: IDS Georadar

En la actualidad la tecnología en la industria minera ha evolucionado a causa de graves eventos producidos por deslizamiento de taludes de tajos mineros en todo el mundo, generando mecanismos confiables de advertencia avanzada que emiten una indicación de un colapso inminente y brindan un tiempo realista para evacuar las áreas problemáticas.

Clonsa tal como lo menciona el Ing. Jorge Castro Oróstica (Lima, 2016) en su ponencia sobre Usuarios Radares Reutech, asegura que para que un sistema sea efectivo la industria demanda una de prevención de alertas que pueda medir con precisión los movimientos de los taludes y a través de la interpretación precisa la información capturada y dar oportunamente alerta de las inminentes fallas o caídas.

Este mecanismo de alerta anticipada como el radar típicamente generará una alarma cuando se alcance un determinado umbral de alarma predeterminado. A primera vista, todo esto parece bastante simple, sin embargo, Sjöberg (1999) advierte que “la dificultad no radica en la tecnología de medición, sino en lo que deben ser estos umbrales de alarma” (p.254).

En la Empresa Minera Yanacocha S.R.L. (2012) cuenta con varios tajos entre ellos el tajo Tapado Oeste, sea planeado que será minada hasta el 2021 cuando el tajo sea minado hasta sus límites finales tendrá unas dimensiones aproximadas de 1300 m por 1700 m, una altura máxima de 330 m en la pared Norte (desde elevación 3558 a 3222 msnm), formado por parte de un vulcanismo conformado por alteraciones argílicas y propilíticas con rocas piroclásticas y porfiríticas de composición intermedia a ácida, intruídas por diferentes tipos de brechas afectadas por sistemas estructurales NE y NW. (Minera Yanacocha [MYSRL], 2012). En el año 2012 se realizó un análisis de estabilidad por equilibrio límite, para 18 secciones alrededor del tajo, indicando que el sector Norte-Este es el más crítico por estar dominado por materiales de baja resistencia como Clay 3 y Clay 2. (Ver figura 4).

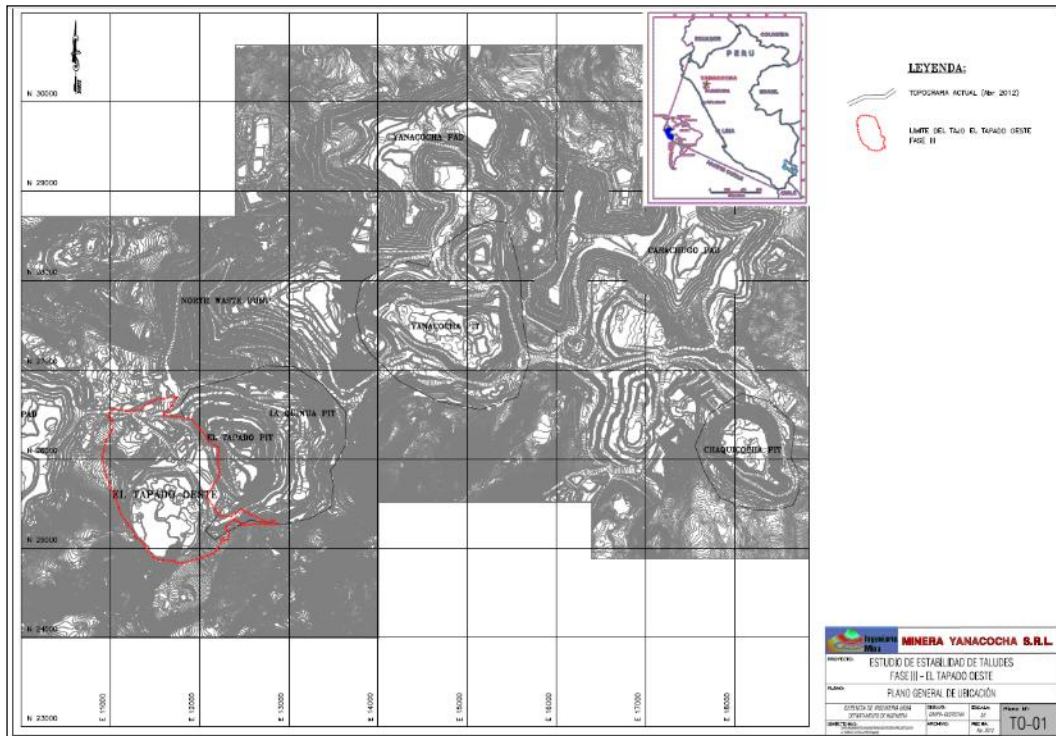


Figura 4: Ubicación del Tajo Tapado Oeste

Figura 4: Fuente: Minera Yanacocha S.R.L

Es por ello que implementaron un sistema de monitoreo de movimiento de taludes mediante el radar Reutech MSR 300 colocando énfasis en la pared Norte-Este durante la fase de minado del tajo, lo que les permitió cuantificar la respuesta del talud a la excavación. En el 2017, la Pared Nor-Este del Tajo Tapado Oeste presento dos deslizamientos de dos fallas geológicas. La falla Shingo colapso el 17 de Setiembre a las 20:04 p.m., perdiéndose de altura 96m (8 bancos) y ancho: 34 m. La otra falla es Subfase colapso el 05 de marzo a las 02:20 p.m., perdiéndose de altura: 110m (RL 3444 a RL 3336) y Ancho: 80m.

En base a las fallas mencionadas, se realizó el análisis de la data del desplazamiento acumulado y velocidad incremental para determinar los umbrales de alarma y aplicando el método establecido por Broadbent y Zavodni (1978 a 1982) para el análisis de velocidades de colapso en taludes de roca.

Algunos autores mencionan que “la magnitud y la velocidad de una falla inestable varían ampliamente de una mina a otra mina” (Zavodni, Z. & Broadbent, C, 1978, p. 88).

(Paredes y Velásquez, 2013) en el artículo científico denominado Modelamiento determinístico para obtener criterios de alarmas, tiempo y velocidad de colapso en la construcción del botadero Tucush compañía Minera Antamina S.A. presentada en PERUMIN 30 Convención Minera. -Conclusión 1: “La metodología empleada por Broadbent y Zavodni es aplicable para el análisis de Botadero de Desmonte, determinando la velocidad de colapso obtenida para el criterio de cierre del Botadero Tucush será cuando supere la velocidad de 2.5 cm/h.- Conclusión 2: “Cuando la tendencia del movimiento progresivo acelerado es exponencial se concluye que podría

estar en el inicio de una posible falla, en este caso cerrar el Botadero si supera la velocidad de 2.5cm/h”.

Ramirez (2019) en el artículo científico denominado Reducción de impactos generados por la ocurrencia de peligros geotécnicos en cerro corona mediante la configuración de umbrales por sectores utilizando radar geotécnico presentada ISEM, concluye que la configuraciones de umbrales geotécnicos por sectores se pueden determinar a través de un back análisis de eventos geotécnicos y un tratamiento estadístico en base a la desviación estándar del universo de datos, así logrando determinar los niveles de riesgo (umbrales).

Analizando la información de los colapsos de las fallas que fueron monitoreadas por el radar Reutech MSR 300 instalados en el tajo Tapado Oeste. Se llegó a determinar un modelo para el criterio de alertas en base a velocidad incremental utilizando principios básicos de física (cinemática) y estadística (regresiones y coeficientes de determinación). Toda la información analizada se obtuvo de la base del radar Reutech MSR 300 que envía información en tiempo real mediante el sistema de telemetría a una estación base.

IntellTech (2017) señala que las tecnologías radar permite el análisis de grandes áreas, con la obtención de centenas de miles de puntos de monitoreo con una precisión su milimétrica adquirir datos virtualmente en tiempo real, para obtener las informaciones de desplazamientos que serán convertidas en datos confiables de velocidad y aceleración de las partículas de un macizo. Estas informaciones, pueden ser utilizadas para la definición de alarmas.

Las operaciones mineras se tornan cada vez más agresivas en su producción eso implica alterar las condiciones de estabilidad en tiempos muy cortos y para dar continuidad a

la operación los departamentos de Geotecnia deben tener conocimiento y debe estar preparados para dar respuesta inmediata ante algún indicio de inestabilidad, para el efecto descrito se debe contar con instrumentos que monitoreen permanentemente el área de operación y sus componentes o estructuras de producción. Hoy en día los instrumentos proporcionan información en tiempo real eso implica dar respuestas inmediatas, para lo cual se deben calcular los umbrales de alarma. Para calcular los umbrales se deben obtener datos de los sensores y estos deben estar distribuidos de tal manera que se aproveche la perpendicularidad del punto de medida con el objetivo de medida. Este principio de perpendicularidad aprovecha la medida de acercamiento o alejamiento del sector en movimiento (Paredes, 2013).

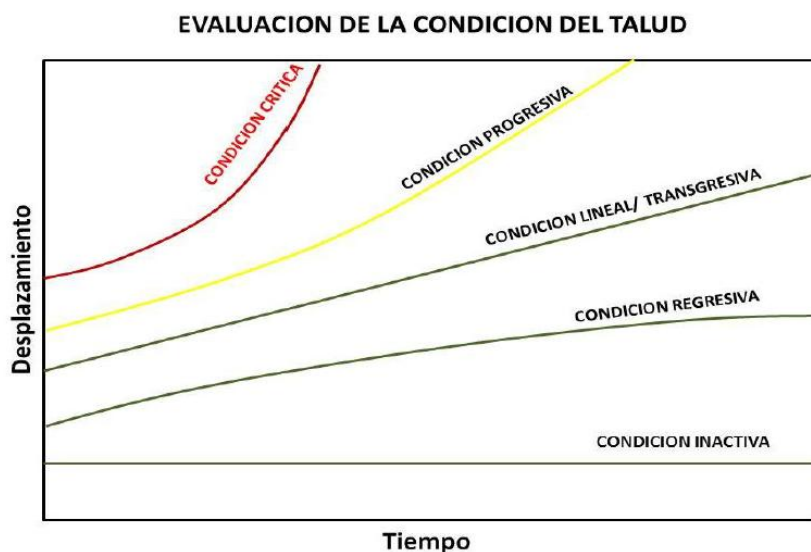


Figura 5: Condiciones de desplazamientos

Fuente: IntellTech (2017)

Es importante tener en cuenta que, por muy preciso y confiable que sea el equipo de vigilancia como el radar, su eficacia depende en gran medida de la selección de los

límites correctos de advertencia anticipada, conocido como umbrales de alarma. (REUTECH, 2016, pág. 36)

El sistema del radar está disponible para los ingenieros geotécnicos proporcionan avisos anticipados por medio de un mecanismo de alarma dado. Este mecanismo típicamente generara una alarma cuando alcance un determinando umbral de alarma predeterminado. A primera vista, todo esto parece sencillo, sin embargo, Sjöberg advierte que la dificultad no radia en la tecnología de medición, sino en lo que deben ser estos umbrales de alarma (Sjöberg, 1999).

Los estudios conducidos por Zavodni y Broadbent (1978) reforzaron este punto y encontraron que la magnitud y la velocidad de una falla inestable varían ampliamente de una mina a otra mina (Zavodni y Broadbent ,1978).

En una documentación interna de la Corporación de Newmont (2017) señala que: "Los umbrales de alarma comparativa contra otros sitios deben realizarse con un alto nivel de cuidado, ya que las tasas de umbral son muy específicas para un sitio en particular en términos de tipos de materiales, condiciones operacionales, perfil de riesgo y métodos / frecuencia de monitoreo. Otros sitios pueden no ser apropiados" (p. 3)

La acción que se toma cuando se excede una alarma es evacuar el área de trabajo afectada, esta es una alarma crítica. Sin embargo, en la práctica, es común definir un segundo nivel de umbral que se activara tiempo antes; una alarma geotecnia. Cuando se activa esta alarma los ingenieros geotécnicos son alertados para investigar el movimiento, del cual pueden no haber tenido conocimiento y decidir sobre la acción requerida. La definición de niveles múltiples de alarmas es simplemente una cuestión de seleccionar diferentes tiempos de advertencia (Reutech, 2016).

Se pueden usar umbrales de alarma basados en el desplazamiento, sin embargo, en el caso de una tasa de desplazamiento constante, pueden eventualmente excederse, incluso si un colapso no es inminente. La tasa de desplazamiento, es decir, la velocidad, proporciona un mejor indicador de falla inminente ya que presenta menos variaciones (Sjöberg 1999). Por lo tanto, es apropiado que los umbrales de alarma acompañantes también se basen en la velocidad.

Hay varias formas de calcular una velocidad a partir de las mediciones de desplazamiento muestreadas. Dos enfoques generales son:

1. Cálculo de una curva empírica que mejor se ajusta al perfil de movimiento de la pendiente;
2. Cálculo de la velocidad promedio basada en el desplazamiento en un cierto intervalo de tiempo.

Esté trabajo de investigación se calculó la velocidad registradas en las tablas mediante el desplazamiento en un cierto intervalo de tiempo.

El cálculo de una velocidad promedio, v , basada en el desplazamiento total, d , durante un período de tiempo fijo, t , es una forma mucho más simple de lograr un resultado similar, donde $v = d / t$.

En base a los datos obtenidos del Radar Reutech MSR 300 y observaciones in situ, se determinó un modelo de criterio de alertas en función a la velocidad y del tiempo. En la determinación de los umbrales y velocidad de colapso se observó que a ciertas velocidades la pared Nor-Este del tajo Tapado Oeste se deformaba.

1.1 Formulación del problema

¿Cuáles son los umbrales de alarma y la velocidad de colapso de las fallas Shingo y Subfase en la pared Nor-Este del Tajo Tapado Oeste de Minera Yanacocha SRL, utilizando el radar Reutech MSR 300?

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

- Determinar los umbrales de alarma y la velocidad de colapso apropiados en la Pared Nor-Este utilizando el radar Reutech MSR 300 basados en el tratamiento estadístico y back análisis de eventos geotécnicos.

1.2.2. Objetivos específicos

- Establecer los umbrales de alarmas del radar Reutech MSR 300 con la acción de activación geotécnica / radar del sitio en el monitoreo geotécnico de Minera Yanacocha.
- Calcular la velocidad de colapso por el método de Broadbent y Zavodni (1978-1982).

1.3. Hipótesis

1.3.1. Hipótesis general

- Los mecanismos de advertencia anticipada son una parte esencial de los programas de monitoreo continuo de pendientes, pero solo son efectivos si se seleccionan los umbrales de alarma correctos; por lo tanto la determinación e implementación de los umbrales de alarmas y velocidad de colapso de tajo Tapado Oeste en el área de geotécnica de Minera Yanacocha, ayudaran a mejorar la identificación anticipación de eventos de caída de material en los

últimos años de explotación del tajo hasta el 2021, evitando pérdidas humanas, materiales y al proceso.

1.3.2. Hipótesis específicas

- La configuración sectorizada de los umbrales de alarmas, reducirán considerablemente la emisión de las falsas alarmas permiten evaluar correctamente el comportamiento de la estabilidad de taludes de la pared Nor-Este del tajo Tapado Oeste en la mina Yanacocha, región Cajamarca hasta el 2021.
- Mediante la metodología empleada por Broadbent y Zavodni se obtendrá la velocidad de colapso de la falla Shingo y Subfase de la pared Nor-Este del tajo Tapado oeste y cuando la tendencia del movimiento progresivo acelerado sea exponencial se evalúa que podría estar en el inicio de una posible falla, en este caso cerrar el tajo si supera la velocidad de colapso.

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

2.1. Tipo de investigación

La investigación es de tipo cuantitativa –descriptiva.

En el proceso cuantitativo, el investigador emplea su diseño para analizar la veracidad de las hipótesis generadas en un contexto específico o para obtener certeza de los lineamientos de la investigación (en el caso de no tener hipótesis). Los tipos propuestos clasifican a los diseños en experimentales y no experimentales. Los experimentos radican en aplicar un estímulo a un individuo, grupo, fenómeno o caso, y observar el efecto de este estímulo en alguna o algunas variables. La variable independiente es la causa y la dependiente el efecto (Hernández, Fernández y Baptista, 2014, p.165). Esta investigación de acuerdo a su diseño es experimental.

Son cuasi – experimentos, los experimentos en los cuales los grupos de estudio no han sido escogidos al azar ya que estaban formados de esa manera antes de la investigación (Borja, 2012, p.29). Bajo esta consideración la investigación tiene un diseño cuasi experimental de series del tiempo o series cronológicas de un solo grupo y su nomenclatura es:

G 01 02 03 X 04 05 06

Siendo: **G:** Muestra o grupo

X: Umbrales de Alarma y Velocidad de Colapso

01, 02: Observaciones

2.2. Población y muestra (Materiales, instrumentos y métodos)

Población

La población objetivo, es un conjunto finito o infinito de elementos con características comunes para los cuales serán extensivas las conclusiones de la investigación. Esta queda limitada por el problema y por los objetivos de la investigación (Arias, 2012, p.81). Bajo esta consideración la población está definida por la Pared Nor-Este del Tajo Tapado Oeste. (Ver figura 6)

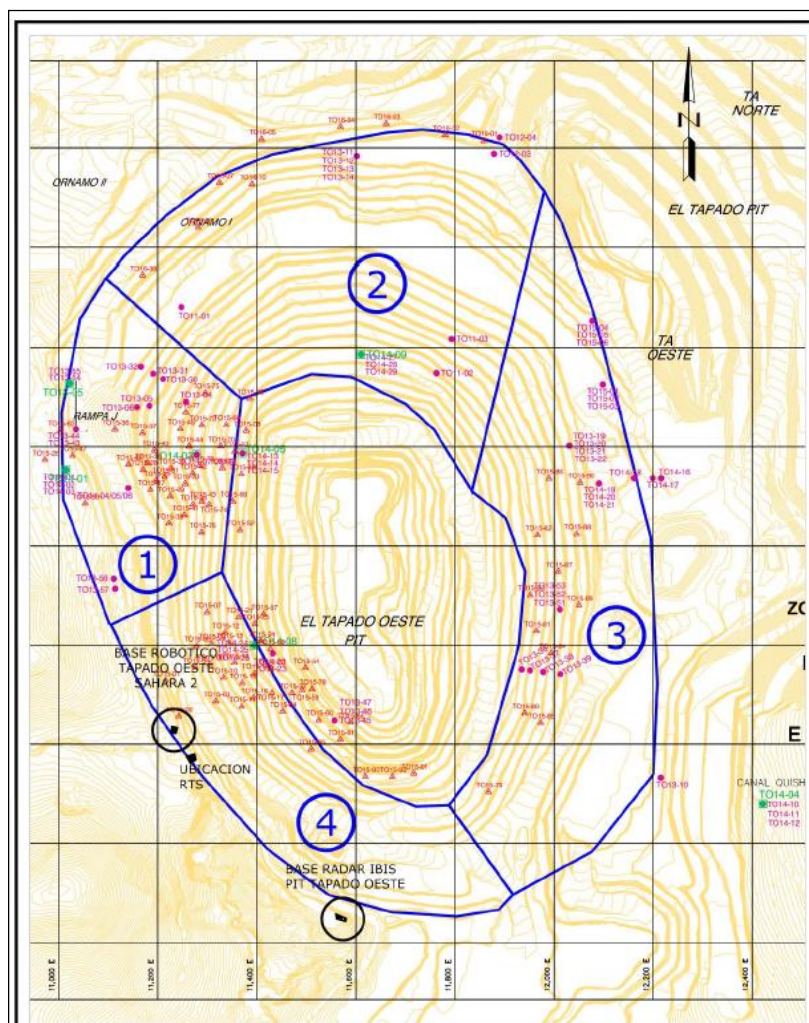


Figura 6: Tajo Tapado Oeste

Fuente: Minera Yanacocha S.R.L. (2016)

Muestra

La muestra es un subconjunto finito o representativo, que se separa de la población accesible. En caso la población, por el número de unidades que la integran, resulta accesible en su totalidad, no será necesario extraer una muestra, en consecuencia, se podrá investigar u obtener datos de toda la población objetivo. (Arias, 2012, p.83).

En base esa definición la muestra del trabajo de investigación son las fallas geológicas colapsadas: Shingo y Subfase del 2017. (Ver figura 7)



Figura 7: Ubicación de la Falla Shingo y Subfase

Fuente: Minera Yanacocha S.R.L (2017)

Muestreo

Es la técnica o procedimiento que se emplea para seleccionar la muestra. Hay dos formas de muestreo: probabilístico y no probabilístico (Arias, 2012, p. 83). En el caso de los muestreos no probabilístico existe el tipo intencional u opinático, por el cual los elementos son escogidos con base en criterios o juicios preestablecidos por el investigador (Arias, 2012, p.85). En la investigación se empleó el muestreo no probabilístico del tipo intencional.

2.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos

La recopilación de toda la información de campo se realizó mediante el uso del radar Reutech, una base de datos que se presentan en la investigación. Este proceso implica tres actividades estrechamente vinculadas entre sí: primero, seleccionar el instrumento de recolección de datos, el mismo que debe ser válido y confiable, segundo, aplicar el instrumento a la muestra de estudio; es decir observaciones, registros o mediciones de variables y tercero, analizar la información recopilada. (Borja, 2012, p.33).

2.3.1 Técnicas de recolección de datos

La técnica es la observación, la cual consiste en observar u obtener mediante la vista, en forma sistemática, cualquier fenómeno, situación o hecho, que se genere en la naturaleza o en la sociedad, en función de los objetivos preestablecidos en la investigación (Arias, 2012, p.69). En esta investigación la técnica empleada es la observación directa de los hechos, mediante el empleo de instrumentos de medición.

2.3.2 Instrumentos de recolección de datos

Son los formatos, recursos o dispositivos (en formato digital o papel), que se emplean para capturar, registrar o almacenar datos. (Arias, 2012, p.70). En este estudio el instrumento de medición es el Radar Reutech MSR 300.

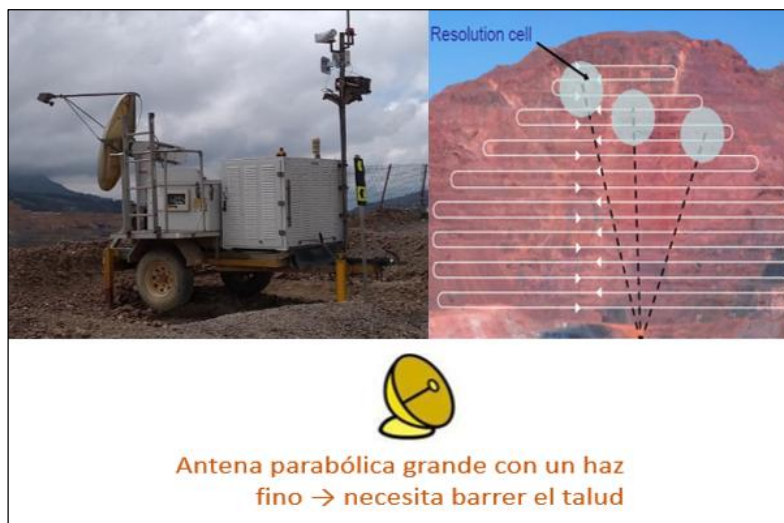


Figura 8: Radar Reutech MSR 300

Fuente: Reutech (2016)

Tabla 1: Recolección de datos, mediante técnica e instrumento

TÉCNICA	INSTRUMENTO
<p>Observación en campo de la superficie de los macizos rocosos de la pared Nor-Este del tajo Tapado Oeste para determinar:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Desplazamiento • Velocidad • Aceleración 	<p>Base de Datos recolectada del radar de la medición superficial del macizo rocoso de la pared Nor-Este del tajo Tapado Oeste:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Radar Reutech MSR 300

Fuente: Propia

Confiabilidad

La confiabilidad es el grado en que el empleo repetitivo de un instrumento de medición independiente de su objetivo siempre debe medir lo mismo, bajo las mismas condiciones. Los métodos más conocidos para calcular la confiabilidad son: a) medida de estabilidad, b) formas alternadas, c) mitades partidas y d) consistencia interna. También se aplica la medida de congruencia interna denominada “coeficiente alfa Cronbach”, que es el más utilizado (Hernández, Fernández y Baptista, 2014, p.208).

El coeficiente alfa de Cronbach varía entre 0 y 1, siendo: 0 confiabilidad nula y 1 confiabilidad total.

Para ello hay que recordar lo que citan Oseda et al. (2015), donde nos argumentaban que “la confiabilidad, así como la validez se mide de 0 a 1”. El mismo Oseda nos proporciona una tabla y nos dice que si la confiabilidad está en el rango de 0.72 a 0.99 se categoriza como excelente confiabilidad y es apta para su aplicación.

Tabla 2: Equivalencia de la confiabilidad

0,53 a menos	Confiabilidad nula
0,54 a 0,59	Confiabilidad baja
0,60 a 0,65	Confiable
0,66 a 0,71	Muy Confiable
0,72 a 0,99	Excelente confiabilidad
1.0	Confiabilidad perfecta

Fuente: Oseda D, (2012)

Para la realización del estudio de la tesis se utiliza la Base de datos de las dos fallas que han colapsado en el tajo Tapado Oeste mencionadas en el estudio, generando gráficos donde en el eje horizontal se visualiza el tiempo (días) y en el eje vertical desplazamiento acumulativo (mm), haciendo uso de una línea de tendencia polinómica de cuarto grado, mientras mayor sea el grado mejor será el ajuste de la curva (Emery, 2013 pág.23), obteniendo una magnitud estadística, R^2 que es el coeficiente de determinación, la cual mide la proporción de variación y dispersión de la variable dependiente (tiempo) explicada por la variable independiente (desplazamiento); es decir la variable independiente están ajustadas con la variable dependiente. El coeficiente de determinación debe ser lo más cercano posible a 1 (Emery, 2013, p.23).

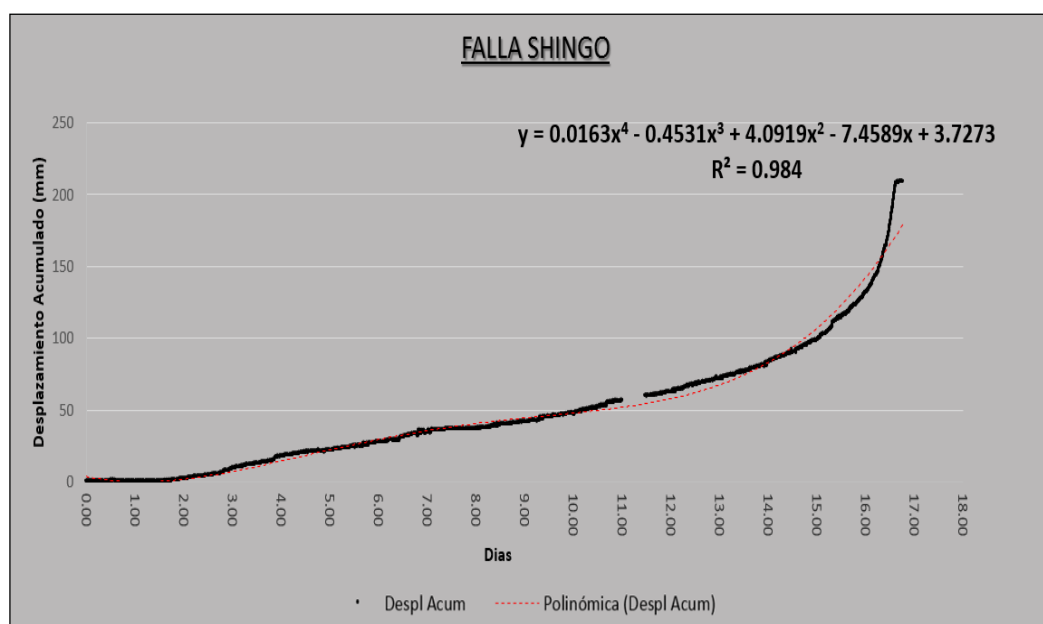


Figura 9: Desplazamiento Acumulativo (mm) vs Tiempo (días)- Falla Shingo.

Fuente: Propia

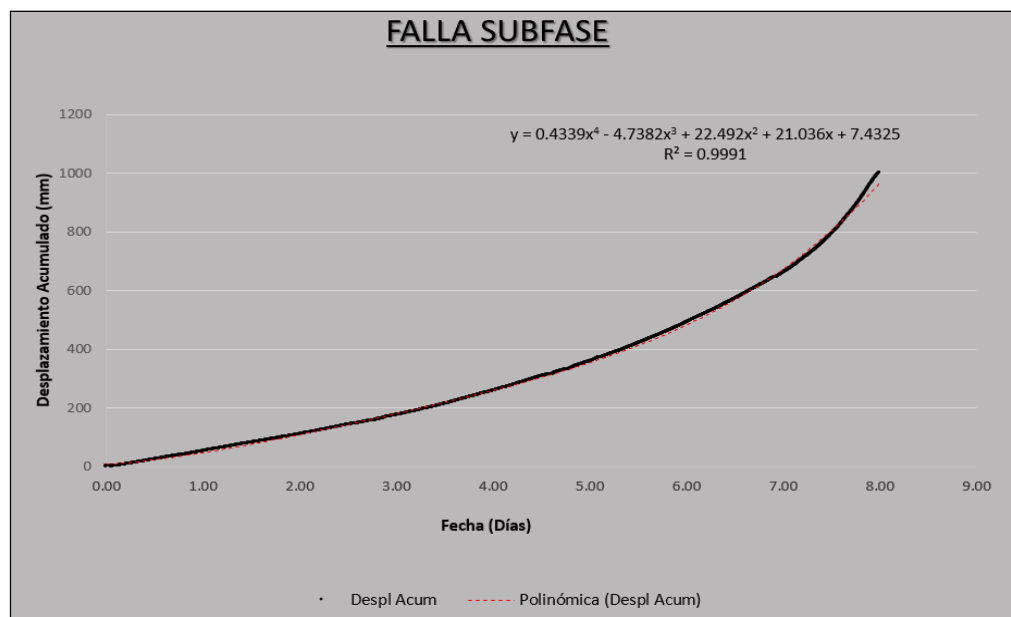


Figura 10: Desplazamiento Acumulativo (mm) vs Tiempo (días)- Falla Subfase

Fuente: Propia

Por lo tanto, los valores obtenidos en la base de datos de la falla Shingo y Subfase se han obtenido valores de $R^2 = 0.984$ (Ver figura 9) y $R^2 = 0.9991$ (Ver figura 10), en base a la tabla 02 se puede confirmar que el Radar Reutech MSR 300 emite una base de datos de valores monitoreadas con excelente confiabilidad.

Validez

La validez, es el grado en que un instrumento mide realmente la variable que pretende medir. La validez es un concepto que tiene varias evidencias como: 1) evidencia relacionada con el contenido, 2) Evidencia relacionada con el criterio y 3) Evidencia relacionada con el constructor; pero también otro tipo de validez que otros autores consideran es la face validity o validez de expertos, la cual se refiere al grado que un instrumento mide a la variable en cuestión, de acuerdo con “voces calificadas”, se

determina mediante la evaluación del instrumento ante expertos (Hernández, Fernández y Baptista, 2014, p.204). De acuerdo con lo descrito, para esta investigación la validación de los instrumentos de medición se realizará mediante la validación de certificados de calibración anual del radar Reutech MSR 300. Ver anexo 1 y 2.

2.3.3 Método de Análisis de datos

Esta investigación es cuantitativa y los datos se han presentado de forma numérica y en dos niveles de complejidad:

Análisis descriptivos

Para el análisis de los datos obtenidos se ha empleado la Base de Datos que monitorearon el colapso de dos fallas geológicas por del radar Reutech MSR 300 y ha procesado manualmente los datos con el programa Microsoft Excel y Minitab. Para el análisis, se ha empleado el módulo de análisis estadístico, con el cual se calcularon la media, moda, mediana, desviación estándar y varianza, además se presentaron datos en histogramas, así como gráficos de series temporales de desplazamientos y velocidades.

Análisis ligados a las hipótesis

Esta investigación no ha requerido probar la hipótesis, sino se realizó el cumplimiento de objetivos específicos y general, por tratarse de un estudio con variables cuantitativas.

Módulo de Análisis Estadístico y Predictivo:

El gran número de sensores instalados en los tajos abiertos de las minas y presas genera una cantidad enorme de datos proporcional al número y a la variedad de las mediciones. Sin embargo, los datos no significan necesariamente información, por lo que el módulo de análisis estadístico es muy importante ya que genera datos para determinar decisiones mediante las lecturas de los sensores (IntellTech, 2017).

La interfaz de un instrumento seleccionado por el usuario es posible visualizar informaciones sobre: Desplazamiento, Velocidad, Aceleración, Predicción de los valores futuros de los instrumentos, el histórico de alarmas generadas en el punto analizado, predicción estadística del instante de rotura, la correlación del punto analizado con los demás puntos del grupo o grupos a los que pertenece, el Histograma de la serie temporal.

Es importante destacar que los términos velocidad y aceleración tienen que ser interpretados en su significado estadístico y no físico. Así, estos dos gráficos no necesariamente tienen que ver con movimiento, pero sí con la variación que representan los datos, o sea, la primera y segunda derivada de los datos con respecto al tiempo.

2.4. Procedimiento

Criterio para la ubicación del radar Reutech MSR 300

La ubicación de los instrumentos de monitoreo en campo debe estar en relación al comportamiento de los taludes, al método de manejar los datos, al análisis de la información y predecir futuros comportamientos de los taludes. La ubicación de los hitos de control en los taludes del tajo abierto, deben ser elegidas de acuerdo a las condiciones del macizo rocoso, calidad del material y las condiciones del agua.

En general, los criterios utilizados, para la ubicación de los sensores de monitoreo corresponden a (Cruces, 2014, p.83):

Ubicar sectores con diseños agresivos, alturas inter-rampas sobre una altura agresiva y ángulos inter-rampas de mayor ángulo límite admisible.

- Determinar sectores de fallas mayores y de contacto geológico.

- Identificar los diferentes mecanismos de fallas como: planares, cuñas, fallas por volcamiento, zonas de caídas de rocas.
- Identificar zonas de grandes deformaciones

Un sistema de radar con una sola antena receptora solo puede medir el componente del desplazamiento real de la pendiente en la dirección de la antena, la llamada dirección de línea de visión. (Reutech, 2016)

El sitio ideal para ubicar el radar es aquel que permite que el haz emitido hacia el talud sea lo más perpendicular posible respecto a la antena.

El lugar para instalación no debe obstruir la visibilidad y el ángulo de monitoreo recomendado es mayor a 40° y lo ideal es 90° también el terreno de ubicación del radar debe ser firme, nivelado y estable (Reutech, 2016). (Ver figura 11).

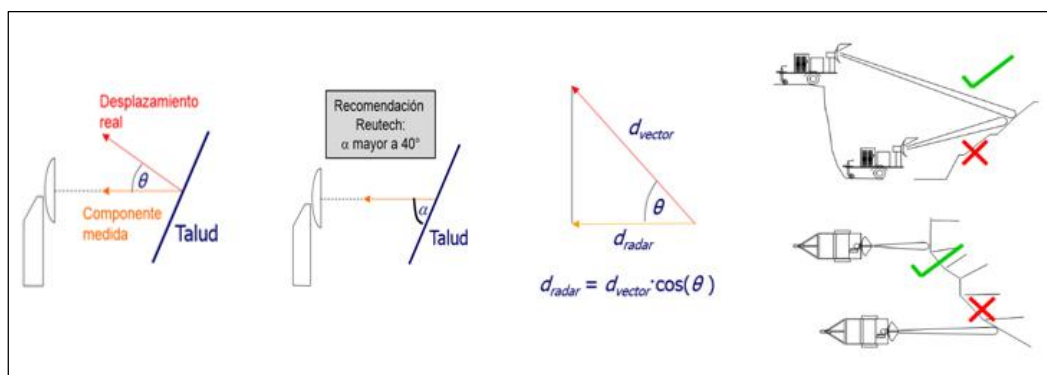


Figura 11: Efecto del ángulo de incidencia de movimiento medido por el radar

Fuente: Reutech (2016)

La posición del radar en la Figura 12 (a) proporciona una mejor cobertura del tajo la mayoría de los bancos con un factor de escala muy por encima del 70%. En la Figura 12 (b), una gran parte de la pared de la derecha es muy oblicua para el radar, por lo que se verá muy poco movimiento perpendicular a los bancos desde esa posición.

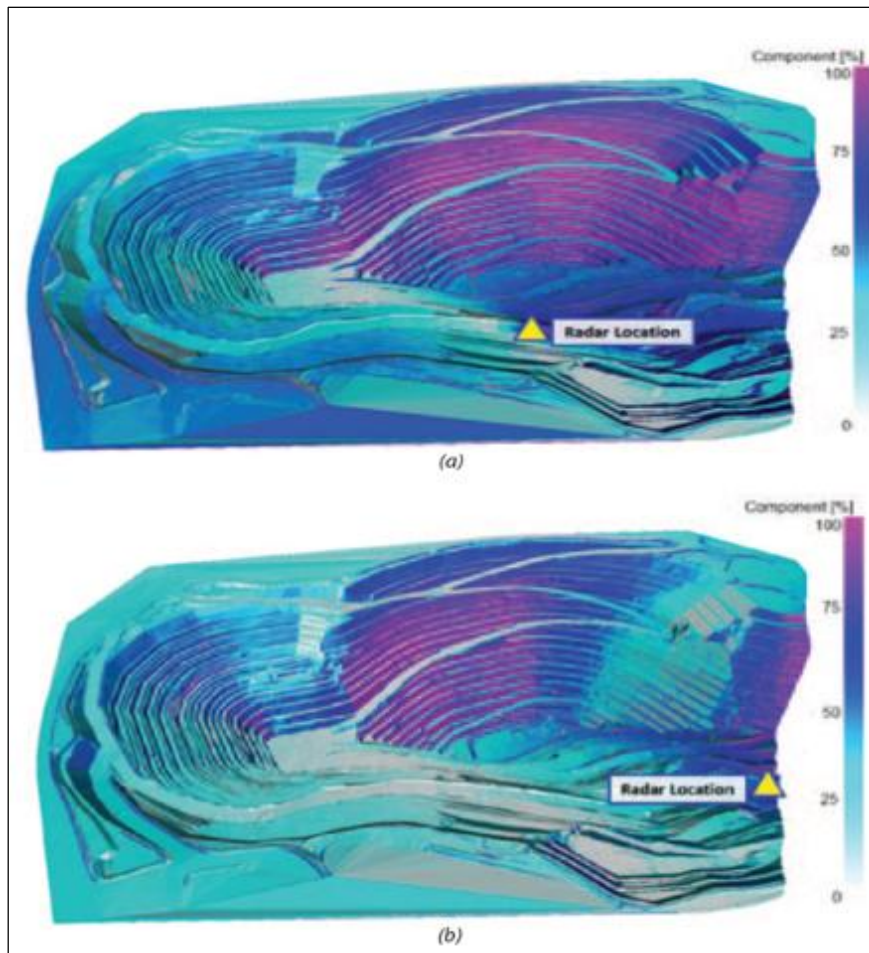


Figura 12: Comparación de efecto geométricos para diferentes ubicaciones del radar.

Fuente: Reutech (2016)

La herramienta de medición del trabajo de investigación, el radar Reutech MSR 300, posicionó cumpliendo los requisitos mencionados anteriormente como recomendación de Reutech.

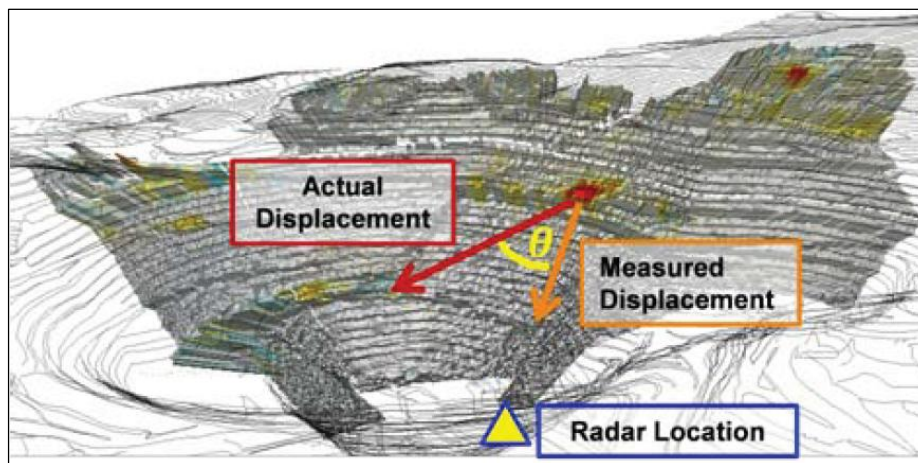


Figura 13: Datos de movimiento del radar superpuestos en el DTM que muestran el ángulo (θ) entre el desplazamiento real y el medido.

Fuente: Reutech (2016)

Reutech (2016) menciona que un límite razonable y práctico para θ es 60° . Por lo tanto, si la línea de visión del radar está en cualquier parte dentro de $\pm 60^\circ$ de la dirección de movimiento real, entonces la alarma de estabilidad de la pendiente se disparará según lo diseñado, o antes. Dependiendo de la geometría del escenario particular, otros valores de θ podrían usarse para este ajuste. Sin embargo, el uso de un factor de escala muy pequeño dará como resultado umbrales muy ajustados, que pueden ser poco prácticos debido a un alto número de falsas alarmas. El diseñador debe hacer una compensación entre el número aceptable de falsas alarmas y la oblicuidad de la geometría de visualización (p. 65).

Para el uso de la investigación mediante el cálculo vectorial simple, determinamos que θ es aproximadamente 60° , o equivalentemente que el término $\cos(\theta)$ es 0.5.



Figura 14: Radar Reutech MSR 300 ubicado en el Tajo Tapado Oeste

Fuente: Minera Yanacocha (2019)

Selección y configuración del área de monitoreo en el radar Reutech MSR 300

El sistema de radar utilizado en el monitoreo de estabilidad de taludes en Minera Yanacocha es RAR (Real Aperture Radar), son equipos de diseño portátil, conocidos como radares no coherentes, ya el tamaño de la antena es controlado por la longitud física de la antena, así como el procesamiento de los datos (Villena, 2008).

Según Reutech (2016) el radar transmite una onda electromagnética de alta frecuencia en la dirección de un objetivo y luego captura la onda que este objetivo refleja y a partir de esto el radar es capaz de medir la distancia del objetivo y el desplazamiento (p.15)

El sistema de radar sirve para monitorear el desplazamiento de un sector específico o seleccionado que es potencialmente inestable, a través de la emisión de un haz de

señal electromagnética que barre en forma continua toda el área de escaneo que se halla elegido, para luego calcular a través de un algoritmo específico los desplazamientos observados.

El sistema radar escanea continuamente la sección de la pared seleccionada y compara las distancias medidas, entre el barrido actual e inicial. Si la distancia cambia, el software del radar geotécnico automáticamente detecta este cambio, el cual puede ser producto de movimiento del talud. En la figura 15 se observa el cambio de fase y la forma de cálculo del desplazamiento que entrega el radar geotécnico. (Cruces, 2014, p.39)

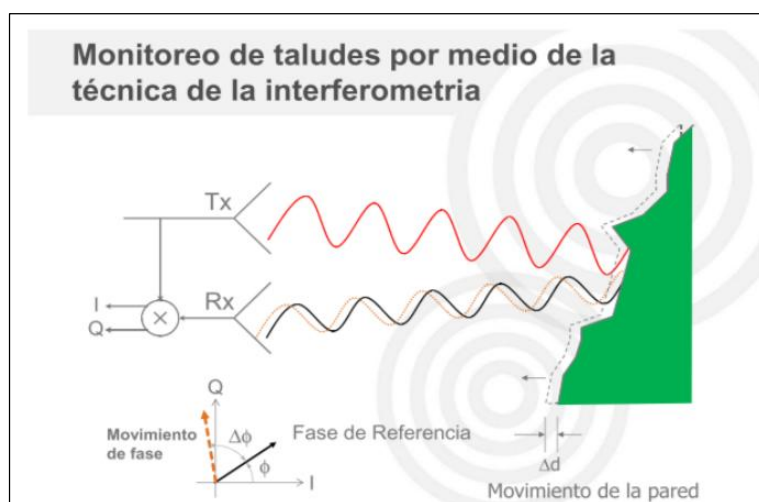


Figura 15: Cambio de fase y forma de cálculo de deformaciones del radar

Fuente: Cruces (2014)

Un radar de Apertura Real opera escaneando la zona de interés línea por línea, los tiempos de exploración típica en el radar de Apertura Real comerciales son del orden de 5 a 7 minutos, para obtener una imagen de resolución completa a 2,5 kilómetros de distancia, para un área de trabajo.

Cuando el radar se encuentre ubicado en el sitio ideal, no se obstruya la visibilidad, un terreno firme, nivelado y estable, es decir que permita que el haz emitido hacia el

talud sea lo más perpendicular posible respecto a la antena y se haya realizado la georeferenciación se selecciona las regiones de escaneo donde se identifican la zona normal (negro), estable (verde), crítica o de alto riesgo (rojo) y zona de exclusión (amarillo).

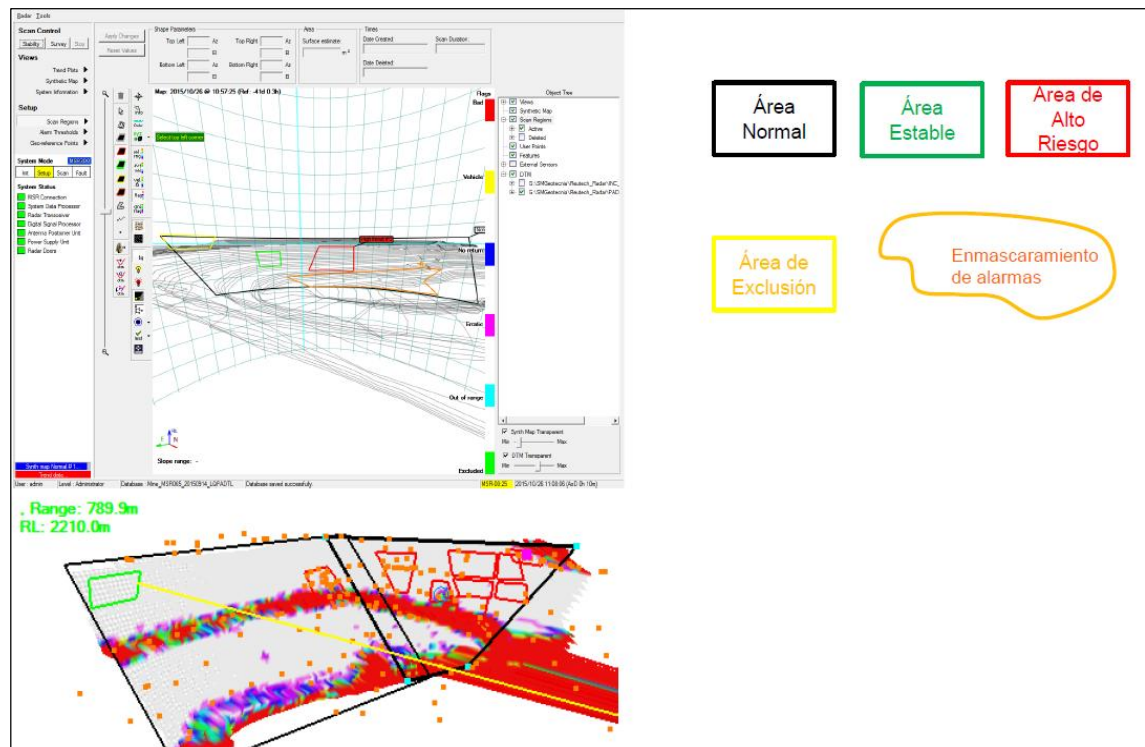


Figura 16: Regiones de escaneo

Fuente: REUTECH (2016)

La falla Shingo y Subfase se identificó y se monitoreo como zona crítica o de alto riesgo. Las figuras 17 y 18 muestran gráficamente lo señalado con anterioridad.

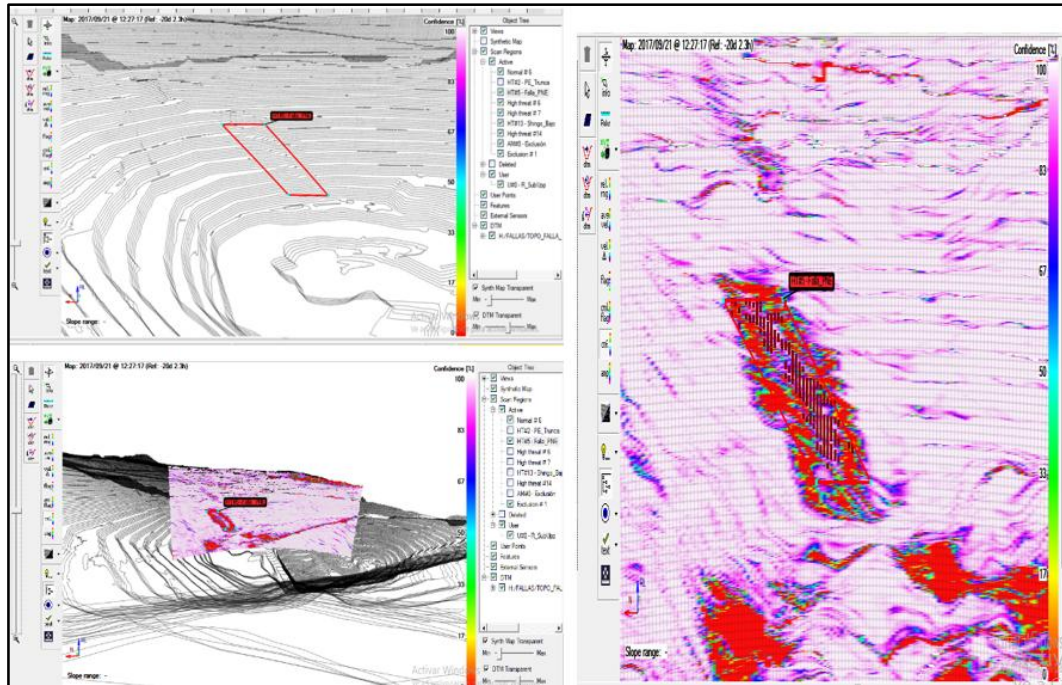


Figura 17: Identificación de la falla Shingo como zona crítica

Fuente: Radar(2017)

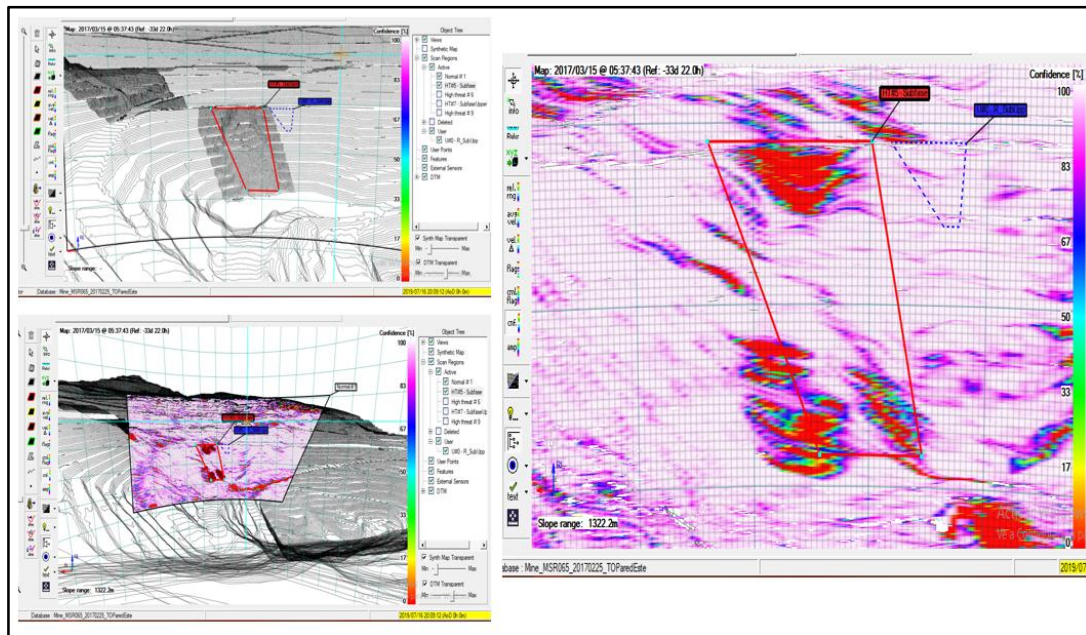


Figura 18: Identificación de la falla Subfase como zona crítica

Fuente: Radar (2017)

Parámetros para monitorear

Para el monitoreo de taludes del tajo abierto de la mina, los instrumentos o sensores deben considerar medir los siguientes parámetros (Cruces, 2014, p.74):

- Desplazamientos, velocidades y aceleraciones del macizo rocoso.
- Deformaciones del macizo rocoso.
- Control de zonas agrietadas.
- Monitoreo de voladuras.

Para medir los parámetros de desplazamientos y velocidades con la finalidad de detectar movimientos en los taludes se emplean instrumentos geotécnicos como el radar Reutech MSR 300 el cual proporciona datos del monitoreo y registran desplazamientos tridimensionales. (Cruces, 2014, p.75)

Los datos capturados dependerán de los tipos de sensores de monitoreo en el caso de la estación total con prismas los datos capturados son coordenadas: este, norte, altura, distancia inclinada; en el caso de los radares y extensómetros son desplazamientos acumulados; en el caso de los piezómetros son niveles piezométricos y en el caso de las estaciones meteorológicas los parámetros climáticos como temperatura, humedad, precipitación; todos estos datos son procesados convirtiéndolos en desplazamientos, velocidades y aceleraciones (Paredes, 2013, p.45).

Los resultados obtenidos son aplicables a cualquier unidad de longitud pudiendo ser unidimensional, bidimensional y tridimensional (Paredes, 2013, p.46). Para realizar los análisis de este trabajo de investigación se consideran los desplazamientos acumulados y velocidades incrementales.

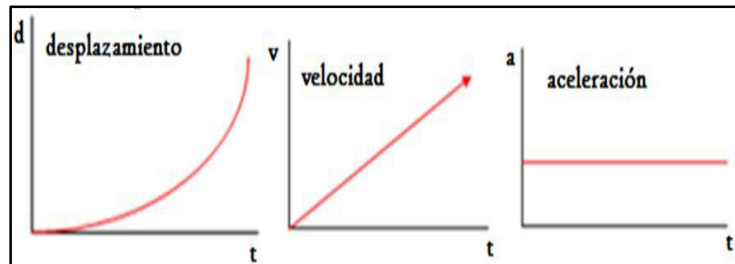


Figura 19: Física I. Gráfica de desplazamiento, velocidad y aceleración

Fuente: (Leiva, 2014, p.73).

Leiva (2014) indica que de acuerdo con la 1ª Ley de Newton toda partícula permanece en reposo o en movimiento rectilíneo uniforme cuando no hay una fuerza neta que actúe sobre el cuerpo. El movimiento rectilíneo uniforme es un movimiento con velocidad constante, puesto que se realiza en línea recta y con rapidez constante. La velocidad se calcula así:

$$Velocidad = \frac{distancia\ recorrida}{tiempo\ empleado} = \frac{e}{t}$$

Ecuación 1: Velocidad

Donde:

v = velocidad

e = espacio o distancia

t = tiempo

Díaz y Gonzales (2015) indica que Galileo considero la velocidad como una cantidad que se puede comparar, medir y ser expresada por números, además de ser representada mediante un segmento, o bien puede ser concebida como una razón de cambio del espacio con el tiempo y existe una escala de medición asociada al concepto de

velocidad que denominaremos velocidad media, instantánea y promedio. Estas velocidades miden aspectos distintos del movimiento de una partícula.

Desplazamiento acumulado: Es un criterio muy importante si se quiere realizar análisis por desplazamiento. Cuando nos referimos al desplazamiento acumulado estamos hablando del desplazamiento que se originó desde el inicio hasta la última medida. Para calcular el desplazamiento acumulado se usa la Ecuación 1.

$$\Delta L = l_f - l_i$$

Ecuación 2: Diferencia de longitud o medidas.

Donde:

l_f : Longitud o medida final del radar.

l_i : Longitud o medida inicial del radar.

ΔL : Diferencia de longitud o medidas.

Se recomienda realizar el análisis del comportamiento de los taludes del tajo abierto con el desplazamiento acumulado. Para el ejemplo se han tomado datos de un extensómetro.

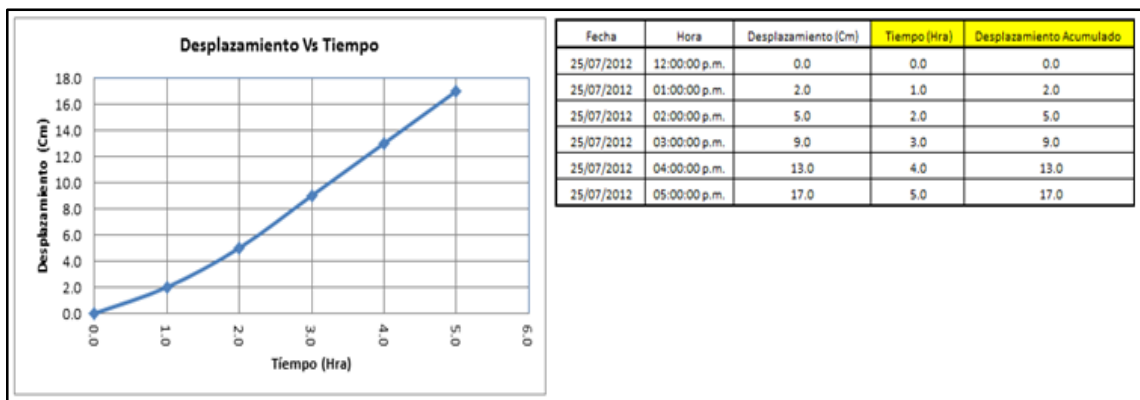


Figura 20: Desplazamiento acumulado vs tiempo

Fuente: (Paredes, 2009, p.47)

Desplazamiento incremental: Cuando nos referimos al desplazamiento incremental estamos hablando del desplazamiento que se origina de la diferencia de la última medida menos la penúltima medida. Para calcular el desplazamiento incremental se usa la Ecuación 2.

$$\Delta Li = l_u - l_p$$

Ecuación 3: Diferencia de longitud o medidas incrementales.

Donde:

l_u : Longitud o medida última del radar.

l_p : Longitud o medida penúltima del radar.

ΔLi : Diferencia de longitud o medidas incrementales.

Este criterio no es recomendable para el análisis de movimiento ya que el desplazamiento incremental es menor que el desplazamiento acumulado o real. Para el ejemplo se han tomado datos de un extensómetro.

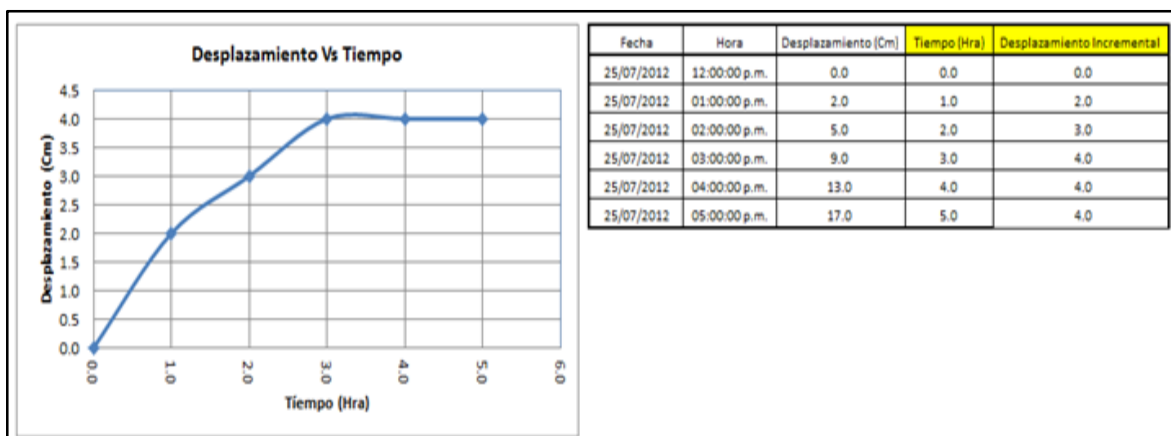


Figura 21: Desplazamiento incremental vs tiempo

Fuente: (Paredes, 2009, p.49)

Velocidad Media: El termino velocidad se emplea para indicar que tan rápido se mueve un objeto, indicar su magnitud y la dirección en la que se mueve, por lo que se puede afirmar que la velocidad es un vector (Giancoli, 2008, p.21).

La velocidad media se traduce en la Ecuación 03; pero se debe tener cuidado de confundir velocidad media con rapidez media.

$$V = (d_f - d_i)/(t_f - t_i)$$

Ecuación 4 : Velocidad Media

Dónde:

V: Velocidad Media

d_f: Longitud o medida final del radar.

d_i: Longitud o medida inicial del radar.

t_f: Tiempo que registró la última medida.

t_i: Tiempo que registró la primera medida.

Esta velocidad no refleja lo que realmente paso antes de la última medida, es por eso que no es recomendable usar este criterio.

Velocidad Instantánea: Es la velocidad promedio en un intervalo de tiempo infinitesimalmente corto (Giancoli, 2008, p.21). Esta velocidad se calcula haciendo que el límite del tiempo tienda a cero, la Ecuación 4 traduce lo descrito:

$$U = \lim (d_f - d_i)/(t_f - t_i)$$

$$\Delta t \rightarrow 0$$

Ecuación 5: Velocidad Instantánea

Dónde:

U: Velocidad Instantánea.

d_f: Longitud o medida final del radar.

d_i : Longitud o medida inicial del radar.

t_f : Tiempo que registró la última lectura.

t_i : Tiempo que registró la primera lectura.

Este es el criterio apropiado si se quiere analizar por Velocidad; pero para este análisis se debe ajustar los datos mediante una tendencia de regresión y esto es muy tedioso, por tal motivo se usa el siguiente criterio.

Velocidad Incremental: Esta velocidad es muy importante porque es la que se usa en primera instancia como variante de la velocidad instantánea ya que sin necesidad de encontrar tendencias de regresión podemos darnos una idea del comportamiento de la velocidad. Los resultados presentan tendencias similares a los de la velocidad instantánea. La Ecuación 5 se usa para calcular esta velocidad incremental.

$$U_{in} = (d_u - d_p)/(t_u - t_p)$$

Ecuación 6: Velocidad Incremental.

Dónde:

U_{in} : Velocidad Incremental.

d_u : Longitud o medida última del radar.

d_p : Longitud o medida penúltima del radar.

t_u : Tiempo que registró la última lectura.

t_p : Tiempo que registró la penúltima lectura.

En la siguiente figura se muestra la comparación de las tres velocidades descritas, donde se aprecia que la velocidad instantánea es mayor que las otras velocidades y la velocidad media es menor; por lo que la velocidad incremental es la más conservadora (Paredes, 2013, p.51).

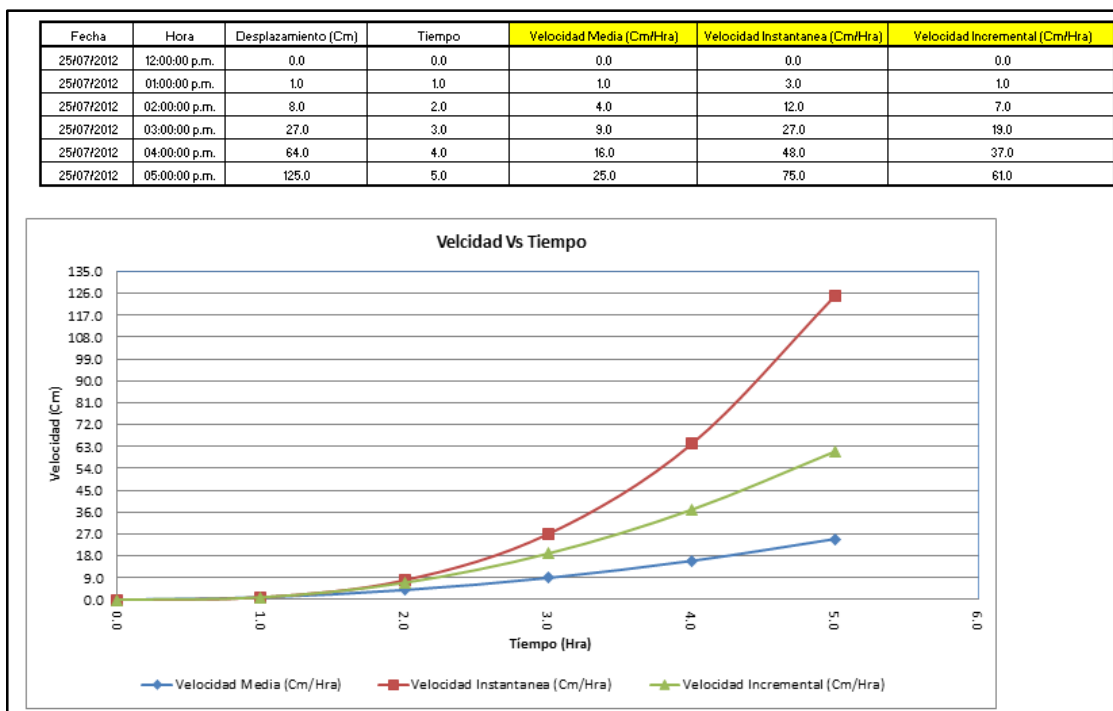


Figura 22: Velocidades media, instantánea e incremental

Fuente: (Paredes, 2013, p.52)

A continuación, se muestra en la tabla 3 la data obtenida del monitoreo del radar Reutech MSR 300 de la falla Shingo.

Tabla 3: Data exportada del Radar Reutech MSR 300- FALLA SHINGO

Date	Time	Relative[mm]	AverageVelocity[mm/h]	VelocityDelta[mm/h]
01/09/2017	05:38	01/09/2017 05:38	0	0
01/09/2017	05:42	01/09/2017 05:42	0.064	0
01/09/2017	05:47	01/09/2017 05:47	-0.0214	-0.1494
01/09/2017	05:52	01/09/2017 05:52	-0.0796	-0.2075
01/09/2017	05:57	01/09/2017 05:57	-0.004	0.0388
01/09/2017	06:02	01/09/2017 06:02	-0.0824	-0.0396
01/09/2017	06:07	01/09/2017 06:07	-0.0329	0.1263
01/09/2017	06:12	01/09/2017 06:12	0.0187	0.1778
01/09/2017	06:17	01/09/2017 06:17	-0.0173	-0.0093
01/09/2017	06:22	01/09/2017 06:22	-0.1221	-0.1141
01/09/2017	06:26	01/09/2017 06:26	0.0712	0.236
01/09/2017	06:31	01/09/2017 06:31	0.0751	0.2399
01/09/2017	06:36	01/09/2017 06:36	0.0842	0.15
01/09/2017	06:41	01/09/2017 06:41	0.0647	0.1304
01/09/2017	06:46	01/09/2017 06:46	-0.0979	-0.1353
01/09/2017	06:51	01/09/2017 06:51	-0.1399	-0.1773
01/09/2017	06:56	01/09/2017 06:56	-0.0295	0.0051
01/09/2017	07:01	01/09/2017 07:01	0.0209	0.0556
01/09/2017	07:06	01/09/2017 07:06	0.0358	0.2799
01/09/2017	07:10	01/09/2017 07:10	0.001	0.2452
01/09/2017	07:15	01/09/2017 07:15	-0.1049	-0.2472
01/09/2017	07:20	01/09/2017 07:20	-0.0823	-0.2247
01/09/2017	07:25	01/09/2017 07:25	-0.0693	-0.2195
01/09/2017	07:30	01/09/2017 07:30	-0.0257	-0.1758
01/09/2017	07:35	01/09/2017 07:35	0.0066	-0.1619
01/09/2017	07:40	01/09/2017 07:40	-0.203	-0.3555
01/09/2017	07:45	01/09/2017 07:45	-0.1636	-0.2768
01/09/2017	07:50	01/09/2017 07:50	-0.0729	-0.1818
01/09/2017	07:54	01/09/2017 07:54	-0.0954	0.088
01/09/2017	07:59	01/09/2017 07:59	-0.0998	0.0842
01/09/2017	08:04	01/09/2017 08:04	-0.0001	0.2289
01/09/2017	08:09	01/09/2017 08:09	-0.0464	0.1862
01/09/2017	08:14	01/09/2017 08:14	0.1124	0.2967
01/09/2017	08:19	01/09/2017 08:19	0.0632	0.0896
01/09/2017	08:24	01/09/2017 08:24	-0.3938	-0.2259
01/09/2017	08:29	01/09/2017 08:29	0.5398	0.3388
01/09/2017	08:38	01/09/2017 08:38	0.3463	0.1763
01/09/2017	08:43	01/09/2017 08:43	0.2222	0.1423
01/09/2017	08:48	01/09/2017 08:48	0.2392	0.1456
01/09/2017	08:53	01/09/2017 08:53	0.2743	0.1591
01/09/2017	08:58	01/09/2017 08:58	0.2903	0.2955
01/09/2017	09:03	01/09/2017 09:03	0.2404	0.2571
01/09/2017	09:08	01/09/2017 09:08	0.3093	0.2667
01/09/2017	09:13	01/09/2017 09:13	0.2346	0.2174
01/09/2017	09:17	01/09/2017 09:17	0.2038	0.1845
01/09/2017	09:22	01/09/2017 09:22	0.3226	0.2392
01/09/2017	09:27	01/09/2017 09:27	0.5612	0.3139
01/09/2017	09:32	01/09/2017 09:32	0.4227	0.2095
01/09/2017	09:37	01/09/2017 09:37	0.4327	0.2059
01/09/2017	09:42	01/09/2017 09:42	0.3476	0.3701

Fuente: Radar Reutech MSR 300

En la tabla 4 se muestra la data procesada de la falla Shingo, hallando velocidades para el análisis de la investigación.

Tabla 4: Data trabajada para el análisis obtenida del Radar Reutech MSR 300 - FALLA SHINGO

Fecha	Tiempo Acumulativo	Desplazamiento Acumulativo (mm)	Desplazamiento Acumulativo (mm) Valor Absoluto	Velocidad Media (mm/h)	Velocidad Incremental (mm/h)	1/Velocidad Incremental (h/mm)
01/09/2017 05:38	0.00	0	0	0	0	0
01/09/2017 05:42	0.00	0.064	0.064	0.959999999	0.959999999	1.041666667
01/09/2017 05:47	0.01	-0.0214	0.0214	0.142666667	-0.5112	-1.956181532
01/09/2017 05:52	0.01	-0.0796	0.0796	0.341142857	0.698400001	1.431844214
01/09/2017 05:57	0.01	-0.004	0.004	0.012631579	-0.907199999	-1.10229277
01/09/2017 06:02	0.02	-0.0824	0.0824	0.206	0.940800001	1.062925169
01/09/2017 06:07	0.02	-0.0329	0.0329	0.068068966	-0.593999999	-1.683501685
01/09/2017 06:12	0.02	0.0187	0.0187	0.033	-0.1704	-5.868544595
01/09/2017 06:17	0.03	-0.0173	0.0173	0.026615385	-0.0168	-59.52380959
01/09/2017 06:22	0.03	-0.1221	0.1221	0.1665	1.257600001	0.795165394
01/09/2017 06:26	0.03	0.0712	0.0712	0.089	-0.7635	-1.309757696
01/09/2017 06:31	0.04	0.0751	0.0751	0.085018868	0.0468	21.36752135
01/09/2017 06:36	0.04	0.0842	0.0842	0.087103448	0.1092	9.157509168
01/09/2017 06:41	0.04	0.0647	0.0647	0.061619048	-0.234	-4.27350427
01/09/2017 06:46	0.05	-0.0979	0.0979	0.086382353	0.3984	2.510040164
01/09/2017 06:51	0.05	-0.1399	0.1399	0.114986301	0.504	1.984126982
01/09/2017 06:56	0.05	-0.0295	0.0295	0.022692308	-1.324799998	-0.754830919
01/09/2017 07:01	0.06	0.0209	0.0209	0.015108434	-0.1032	-9.689922472
01/09/2017 07:06	0.06	0.0358	0.0358	0.024409091	0.1788	5.592841158
01/09/2017 07:10	0.06	0.001	0.001	0.000652174	-0.522	-1.915708813
01/09/2017 07:15	0.07	-0.1049	0.1049	0.064886598	1.246799999	0.802053257
01/09/2017 07:20	0.07	-0.0823	0.0823	0.048411765	-0.2712	-3.687315631
01/09/2017 07:25	0.07	-0.0693	0.0693	0.038859813	-0.156	-6.410256418
01/09/2017 07:30	0.08	-0.0257	0.0257	0.013767857	-0.5232	-1.911314983
01/09/2017 07:35	0.08	0.0066	0.0066	0.003384615	-0.2292	-4.363001741
01/09/2017 07:40	0.08	-0.203	0.203	0.099836066	2.356799997	0.424304142
01/09/2017 07:45	0.09	-0.1636	0.1636	0.077291339	-0.4728	-2.11505922
01/09/2017 07:50	0.09	-0.0729	0.0729	0.033136364	-1.088399999	-0.918779861
01/09/2017 07:54	0.09	-0.0954	0.0954	0.042088235	0.3375	2.962962965
01/09/2017 07:59	0.10	-0.0998	0.0998	0.042468085	0.0528	18.93939392
01/09/2017 08:04	0.10	-0.0001	0.0001	4.10959E-05	-1.196400001	-0.835840855
01/09/2017 08:09	0.10	-0.0464	0.0464	0.018437086	0.555599999	1.799856014
01/09/2017 08:14	0.11	0.1124	0.1124	0.043230769	0.792000001	1.262626261
01/09/2017 08:19	0.11	0.0632	0.0632	0.023552795	-0.590399999	-1.69376694
01/09/2017 08:24	0.12	-0.3938	0.3938	0.142337349	3.967200004	0.252066949
01/09/2017 08:29	0.12	0.5398	0.5398	0.189403509	1.751999998	0.570776256
01/09/2017 08:38	0.13	0.3463	0.3463	0.115433333	-1.29	-0.775193798
01/09/2017 08:43	0.13	0.2222	0.2222	0.072064865	-1.489200001	-0.671501477
01/09/2017 08:48	0.13	0.2392	0.2392	0.075536842	0.204	4.90196079
01/09/2017 08:53	0.14	0.2743	0.2743	0.0844	0.4212	2.374169039
01/09/2017 08:58	0.14	0.2903	0.2903	0.08709	0.192	5.208333339
01/09/2017 09:03	0.14	0.2404	0.2404	0.070360976	-0.598800001	-1.670006678
01/09/2017 09:08	0.15	0.3093	0.3093	0.088371429	0.826799999	1.209482343

Fuente: Propia

A continuación, se muestra en la tabla 5 la data obtenida del monitoreo del radar Reutech MSR 300 de la falla Subfase.

Tabla 5: Data exportada del Radar Reutech MSR 300- FALLA SUBFASE

Date	Time	Relative[mm]	AverageVelocity[mm/h]	VelocityDelta[mm/h]
09/02/2017	07:39:54	0	0	0
09/02/2017	07:43:58	0	0	0
09/02/2017	07:48:01	-0.0622	-0.0622	-0.0622
09/02/2017	07:52:05	-0.1527	-0.1527	-0.1527
09/02/2017	07:56:09	-0.3876	-0.3254	-0.2633
09/02/2017	08:00:13	-0.5926	-0.5304	-0.4682
09/02/2017	08:04:17	-0.8051	-0.6524	-0.4998
09/02/2017	08:08:21	-1.0078	-0.8552	-0.7025
09/02/2017	08:12:25	-1.1425	-0.7549	-0.3673
09/02/2017	08:16:29	-1.2376	-0.85	-0.4624
09/02/2017	08:20:33	-1.289	-0.6965	-0.1039
09/02/2017	08:24:37	-1.381	-0.7885	-0.1959
09/02/2017	08:28:41	-1.4643	-0.6591	0.146
09/02/2017	08:32:45	-1.5685	-0.7634	0.0417
09/02/2017	08:36:49	-1.6475	-0.6397	0.3682
09/02/2017	08:40:53	-1.7553	-0.7475	0.2603
09/02/2017	08:44:57	-1.8878	-0.7453	0.3972
09/02/2017	08:49:01	-1.9859	-0.8434	0.2991
09/02/2017	08:53:05	-2.092	-0.8544	0.3833
09/02/2017	08:57:09	-2.1917	-0.9541	0.2836
09/02/2017	09:01:13	-2.2723	-0.9833	0.3057
09/02/2017	09:05:17	-2.3983	-1.1092	0.1798
09/02/2017	09:09:21	-2.5197	-1.1387	0.2424
09/02/2017	09:13:25	-2.6399	-1.2589	0.1222
09/02/2017	09:17:29	-2.7643	-1.3001	0.1642
09/02/2017	09:21:33	-2.8845	-1.4202	0.044
09/02/2017	09:25:38	-2.9775	-1.409	0.1595
09/02/2017	09:29:42	-3.0943	-1.5258	0.0427
09/02/2017	09:33:46	-3.1775	-1.53	0.1175
09/02/2017	09:37:50	-3.2883	-1.6134	0.0341
09/02/2017	09:41:54	-3.3387	-1.557	0.17
09/02/2017	09:45:58	-3.4509	-1.5371	0.3202
09/02/2017	09:50:02	-3.5019	-1.4908	0.4014
09/02/2017	09:54:06	-3.6087	-1.4915	0.416
09/02/2017	09:58:10	-3.7185	-1.5014	0.2731
09/02/2017	10:02:14	-3.7811	-1.4836	0.1686
09/02/2017	10:06:18	-3.8876	-1.4645	0.1025
09/02/2017	10:10:22	-3.9992	-1.4548	0.0323
09/02/2017	10:14:26	-4.0865	-1.4225	0.0505
09/02/2017	10:18:30	-4.2154	-1.427	0.0747
09/02/2017	10:22:34	-4.3432	-1.4344	0.1349
09/02/2017	10:26:38	-4.3963	-1.3955	0.1743
09/02/2017	10:30:42	-4.5039	-1.3865	0.2163
09/02/2017	10:34:46	-4.6036	-1.4027	0.1795
09/02/2017	10:38:50	-4.7006	-1.3892	0.2242
09/02/2017	10:42:54	-4.7868	-1.4243	0.1327
09/02/2017	10:46:58	-4.8607	-1.3867	0.1504
09/02/2017	10:51:02	-4.9084	-1.3834	0.1073
09/02/2017	10:55:06	-5.0348	-1.4027	0.0887
09/02/2017	10:59:10	-5.1478	-1.4059	0.0955
09/02/2017	11:03:14	-5.2413	-1.4363	0.0474
09/02/2017	11:07:18	-5.3126	-1.4016	0.0629
09/02/2017	11:11:22	-5.4119	-1.3895	0.0653

Fuente: Radar Reutech MSR 300

En la tabla 6 se muestra la data procesada de la falla Shingo, hallando velocidades para el análisis de la investigación.

Tabla 6: Data trabajada para el análisis obtenida del Radar Reutech MSR 300- FALLA SUBFASE

Fecha	Tiempo Acumulativo	Desplazamiento Acumulativo (mm)	Desplazamiento Acumulativo (mm) Valor Absoluto	Velocidad Media (mm/h)	Velocidad Incremental (mm/h)	1/Velocidad Incremental (h/mm)
25/02/2017 11:51	0.00	-476.8193	476.8193	0	0	0
25/02/2017 11:55	0.00	-476.1073	476.1073	0.712	10.50491804	0.095193508
25/02/2017 12:00	0.01	-476.0806	476.0806	0.7387	0.326938775	1
25/02/2017 12:04	0.01	-475.5373	475.5373	1.282	8.015901645	0.12475203
25/02/2017 12:08	0.01	-475.7282	475.7282	1.0911	2.816557372	0.355043363
25/02/2017 12:12	0.01	-475.8976	475.8976	0.9217	2.499344264	0.400104945
25/02/2017 12:16	0.02	-476.0151	476.0151	0.8042	1.733606559	0.576832151
25/02/2017 12:20	0.02	-476.1867	476.1867	0.6326	2.54222222	0.393356644
25/02/2017 12:25	0.02	-476.16	476.16	0.6593	0.393934427	1
25/02/2017 12:29	0.03	-476.219	476.219	0.6003	0.870491804	1
25/02/2017 12:33	0.03	-476.1719	476.1719	0.6474	0.694918031	1
25/02/2017 12:37	0.03	-476.35	476.35	0.4693	2.62770492	0.380560234
25/02/2017 12:41	0.03	-476.1982	476.1982	0.6211	2.239672133	0.446493924
25/02/2017 12:45	0.04	-476.1796	476.1796	0.6397	0.27442623	1
25/02/2017 12:49	0.04	-476.3452	476.3452	0.4741	2.453333331	0.407608696
25/02/2017 12:53	0.04	-476.4375	476.4375	0.3818	1.36180328	0.734320452
25/02/2017 12:57	0.05	-476.4983	476.4983	0.321	0.897049179	1
25/02/2017 13:01	0.05	-476.4329	476.4329	0.3864	0.964918033	1
25/02/2017 13:05	0.05	-476.4186	476.4186	0.4007	0.210983607	1
25/02/2017 13:09	0.05	-476.581	476.581	0.2383	2.396065575	0.417350848
25/02/2017 13:13	0.06	-476.6932	476.6932	0.1261	1.655409833	0.604080017
25/02/2017 13:17	0.06	-476.8785	476.8785	0.0592	0.987049181	1
25/02/2017 13:21	0.06	-477.0373	477.0373	0.218	2.342950821	0.426812202
25/02/2017 13:26	0.07	-477.2011	477.2011	0.3818	2.426666664	0.412087912
25/02/2017 13:30	0.07	-477.3277	477.3277	0.5084	1.867868854	0.535369492
25/02/2017 13:34	0.07	-477.4749	477.4749	0.6556	2.17180328	0.46044686
25/02/2017 13:38	0.07	-477.6142	477.6142	0.7949	2.055245898	0.486559784
25/02/2017 13:42	0.08	-477.2466	477.2466	0.4273	5.423606561	0.184379156
25/02/2017 13:46	0.08	-477.3504	477.3504	0.5311	1.531475411	0.652965103
25/02/2017 13:50	0.08	-477.5376	477.5376	0.7183	2.761967215	0.362060778
25/02/2017 13:54	0.09	-477.6833	477.6833	0.864	2.149672127	0.46518722
25/02/2017 13:58	0.09	-477.6235	477.6235	0.8042	0.882295083	1
25/02/2017 14:02	0.09	-477.5391	477.5391	0.7198	1.245245902	0.803054239
25/02/2017 14:06	0.09	-477.7241	477.7241	0.9048	2.729508192	0.366366367
25/02/2017 14:10	0.10	-477.9047	477.9047	1.0854	2.664590166	0.375292235
25/02/2017 14:14	0.10	-478.1653	478.1653	1.346	3.844918035	0.260083568
25/02/2017 14:18	0.10	-478.3725	478.3725	1.5532	3.057049182	0.327112827
25/02/2017 14:22	0.11	-478.5814	478.5814	1.7621	3.082131142	0.324450828
25/02/2017 14:27	0.11	-478.8074	478.8074	1.9881	3.334426232	0.299901671
25/02/2017 14:31	0.11	-478.9761	478.9761	2.1568	2.499259257	0.400118554
25/02/2017 14:35	0.11	-479.1156	479.1156	2.2963	2.058196723	0.485862206
25/02/2017 14:39	0.12	-479.3513	479.3513	2.532	3.477540986	0.287559515
25/02/2017 14:43	0.12	-479.4094	479.4094	2.5901	0.857213115	1
25/02/2017 14:47	0.12	-479.5226	479.5226	2.7033	1.670163931	0.598743621
25/02/2017 14:51	0.12	-479.5724	479.5724	2.7531	0.734754099	1
25/02/2017 14:55	0.13	-479.6797	479.6797	2.8604	1.583114755	0.631666148
25/02/2017 14:59	0.13	-479.8127	479.8127	2.9934	1.962295083	0.509607351
25/02/2017 15:03	0.13	-480.0951	480.0951	3.2758	4.166557369	0.240006296
25/02/2017 15:07	0.14	-480.1289	480.1289	3.3096	0.498688525	1

Fuente: Radar Reutech MSR

Identificación de movimiento en la etapa Regresivo y Progresivo

Los autores Broadbent y Zavodni al realizar el análisis de desplazamiento de distintos taludes de rocas identificaron todas las fallas a gran escala ocurrieron gradualmente y que el perfil de movimiento de la pendiente puede definirse por dos etapas de falla distintas conocidas como etapa regresiva y progresiva, también que el análisis para determinar la velocidad de colapso se tenía que realizar con la data del movimiento progresivo, es el estado plástico del material, cabe mencionar que por lo observado este estado presenta una tendencia de regresión exponencial manifestando una velocidad acelerada. (Zavodni y Broadbent, 1978, p., 25).

En la figura 23 y 24 se muestra el movimiento regresivo - progresivo identificados por diferentes autores.

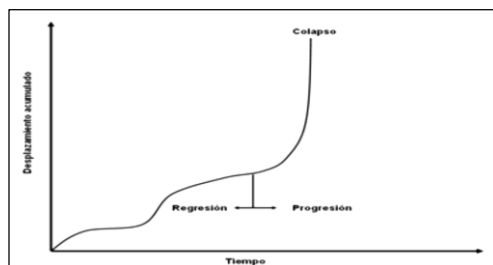


Figura 23: Identificación de las etapas del movimiento regresivo y progresivo

Fuente: Rock Slope Stability, Charles A. Kliche

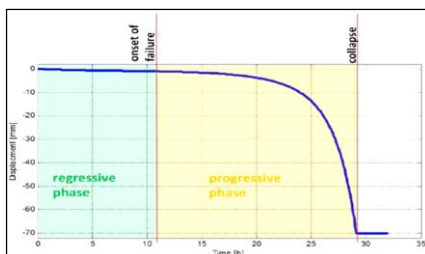


Figura 24: Perfil de movimiento de falla de pendiente genérica que muestra las etapas regresiva y progresiva

Fuente: Zavodni y Broadbent, 1978

La etapa de la falla regresiva se caracteriza por velocidad cero o constante, mientras que la etapa de falla progresiva se caracteriza por una velocidad creciente que finalmente conduce al colapso del talud.

(Sjöberg 1999). Otros (Zavodni y Broadbent, 1978) tienen una definición más amplia de la fase regresiva, que incluye eventos episódicos con aceleración repentina y desaceleración posterior, sin colapso.

En las figuras 25 y 26 se visualizan las identificaciones de la tapa regresiva y progresiva en las falla Shingo y Subfase, se analizó mediante el uso del programa informático Excel.

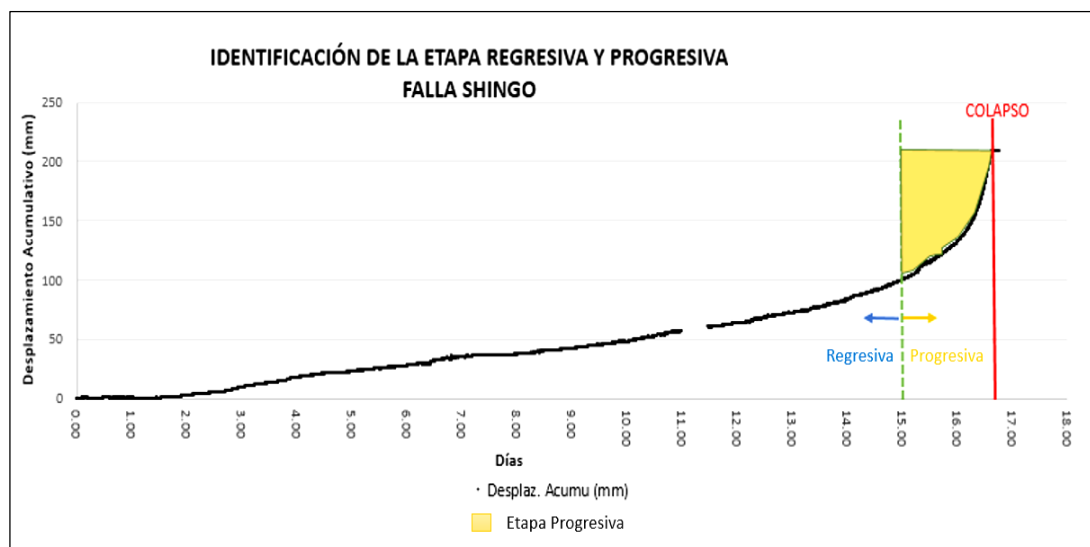


Figura 25: Identificación del movimiento Progresivo y regresivo- FALLA SHINGO

Fuente: Propia

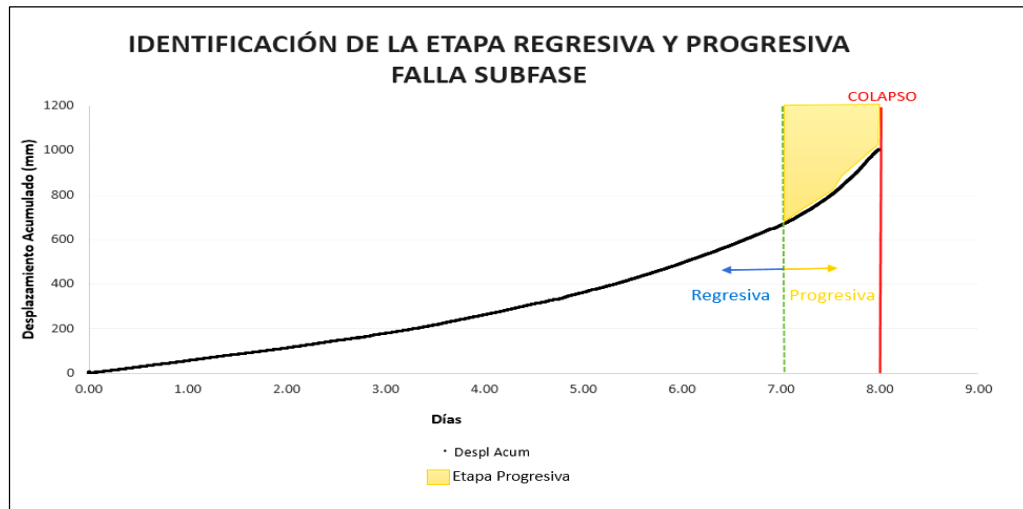
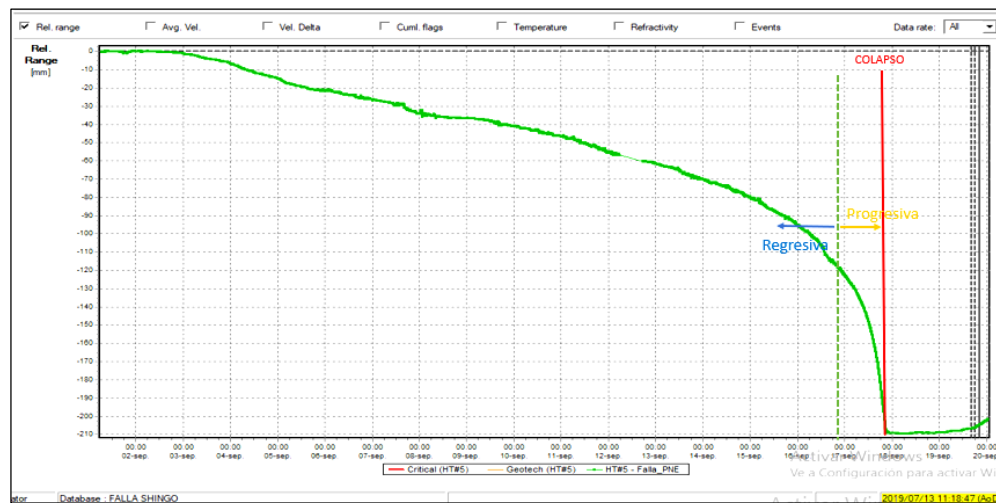


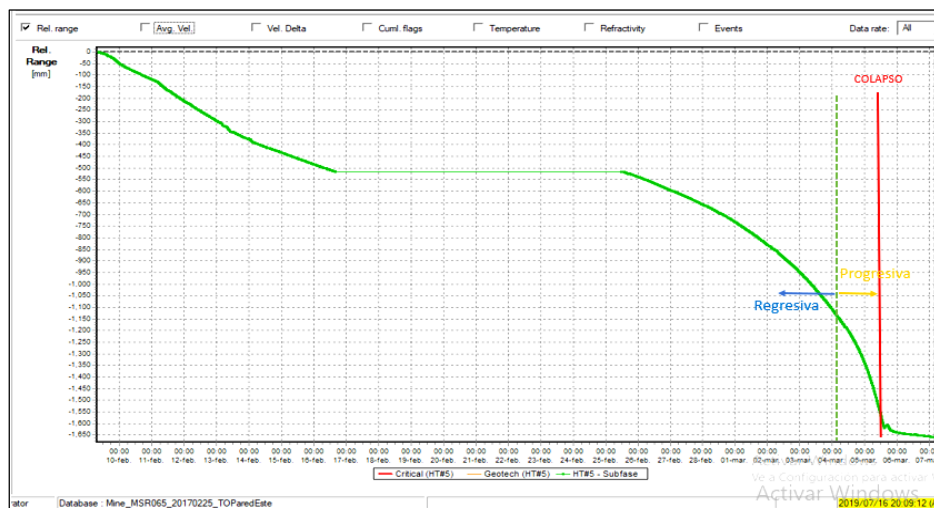
Figura 26: Identificación del movimiento Progresivo y regresivo- FALLA SUBFASE

Fuente: Propia

En la figura 27 (a) y (b) se identifica la etapa regresiva y progresiva de la falla Shingo y Subfase mediante el uso de la gráfica de desplazamiento acumulativo y tiempo obtenido del radar Reutech MSR 300.



(a)



(b)

Figura 27: Identificación del movimiento progresivo y regresivo- FALLA SHINGO y SUBFASE del radar Reutech MSR 300

Fuente: Radar Reutech MSR 300

CAPÍTULO III. RESULTADOS

3.1 Establecer umbrales de alarma del radar Reutech MSR 300 con la acción de activación geotécnica / radar del sitio en el monitoreo geotécnico de Minera Yanacocha.

De acuerdo al análisis de la data obtenida del instrumento, se pueden plantear distintos tipos de regresión con sus respectivas ecuaciones (lineal, exponencial y polinómicas). Al analizar estas ecuaciones se llega a la conclusión que derivando estas podemos obtener la aceleración.

Para obtener la regresión óptima del análisis, se considerará el que obtuvo el coeficiente de determinación que más se aproximó a 1.

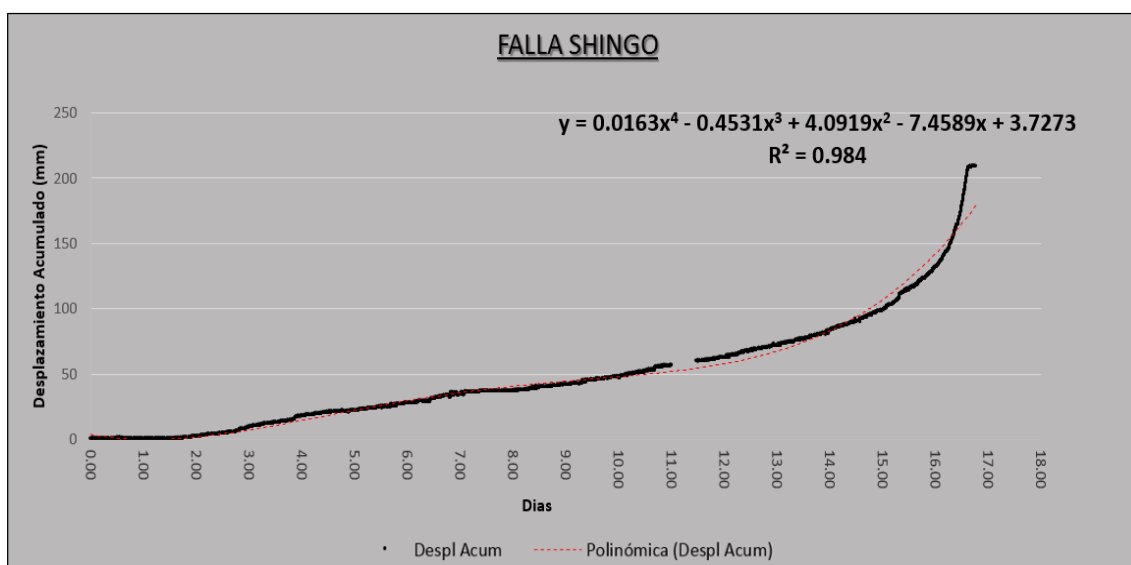


Figura 28: Desplazamiento acumulativo vs el tiempo - FALLA SHINGO

Fuente: Propia

En la figura 28 se muestra el desplazamiento acumulativo y modificado de los datos originales con respecto al eje horizontal (tiempo), el radar registra el tiempo en fecha y horas lo cual fueron modificados a días, esto se hizo para fines solo de comodidad la

hora de hacer los cálculos y en base a regresión polinómica se obtuvo el coeficiente de determinación de 0.984 para la falla Shingo.

En la figura 29 se representa la velocidad incremental nos sirve para identificar los valores con los cuales se harán los criterios de alarmas, con una simple inspección visual podemos ver que hay valores representativos con los cuales podemos generar los criterios.

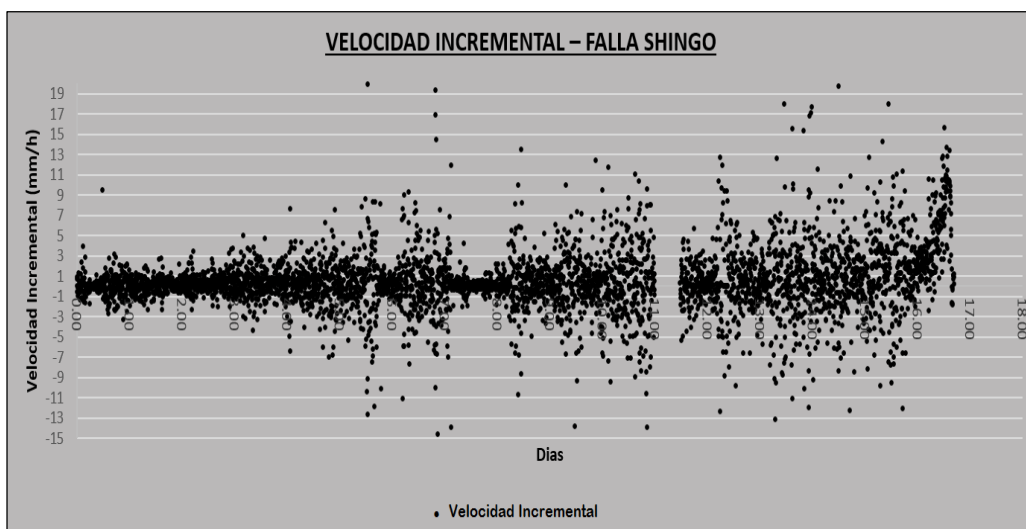


Figura 29: Velocidad Incremental vs el tiempo - FALLA SHINGO

Fuente: Propia

En el análisis estadístico se logró usar la extracción de velocidades de deformación de la pared Nor-Este del tajo Tapado Oeste y el uso de la frecuencia de distribución. En base a las desviaciones estándar del universo de datos se determinan los umbrales de alarma.

El análisis estadístico nos muestra que hay una distribución normal bien marcada esta bondad nos permite inferir por estadística descriptiva los valores para los criterios.

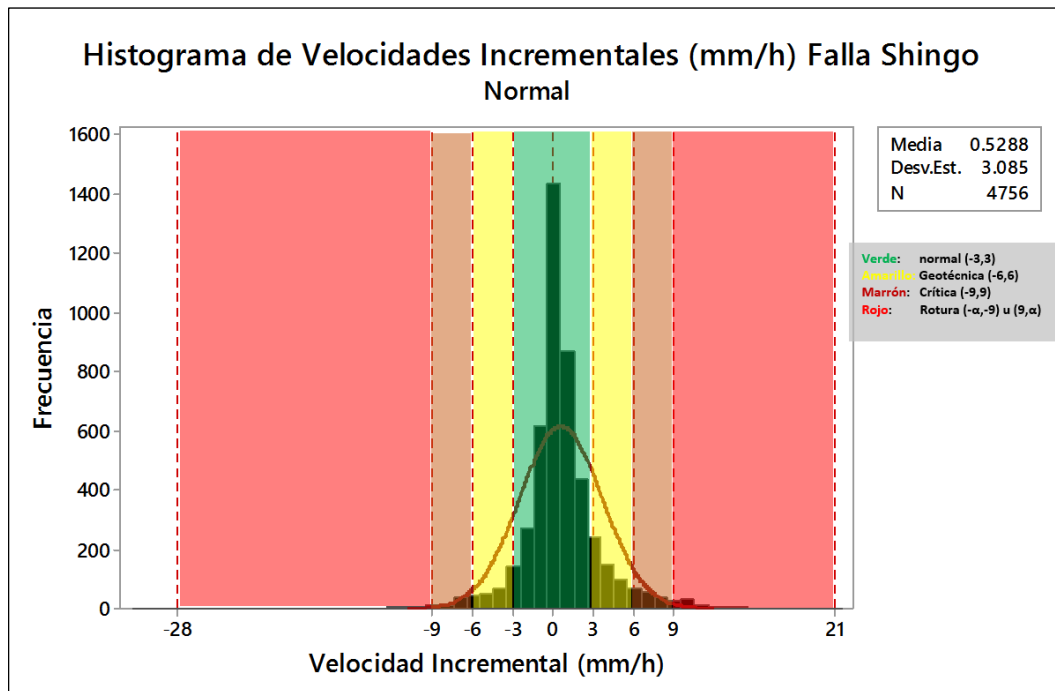


Figura 30: Histogramas de Velocidades Incrementales (mm/h) – Falla Shingo.

Fuente: Propia

Los criterios seteados en nuestros cálculos se observan en la figura 31, donde la alarma geotécnica es 6 mm/h (línea amarilla) y la alarma crítica es 9 mm/h (línea roja).

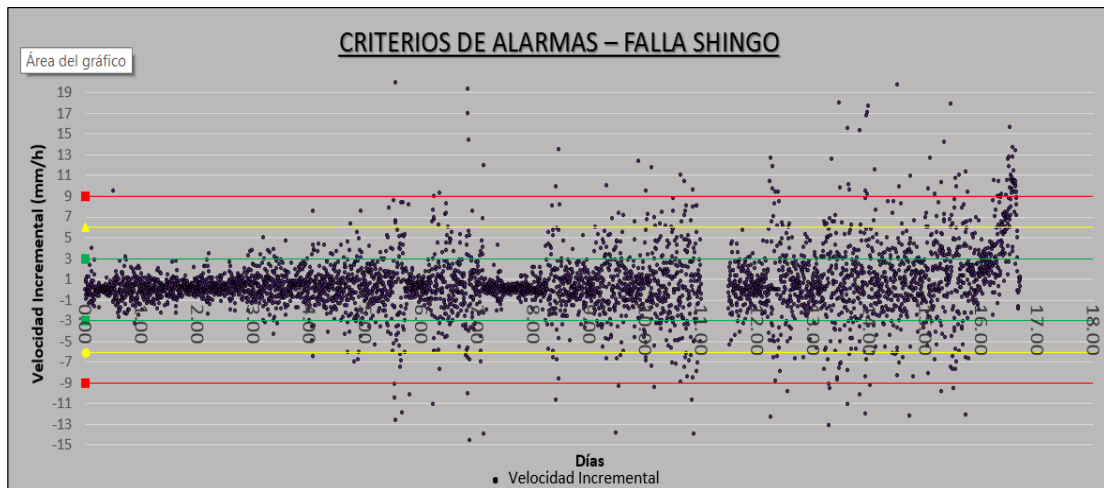


Figura 31: Velocidad Incremental (mm/h) vs el tiempo (h) seteado con los criterios de alarma-FALLA SHINGO.

Fuente: Propia

En la figura 32 se visualiza la configuración y seteo de los anteriores umbrales de alarma: alarma critica era de 13 mm/h y la alarma geotécnica era de 6 mm/h y se utilizaron durante el monitoreo de la falla Shingo y Subfase de la pared Nor-Este del tajo Tapado Oeste.

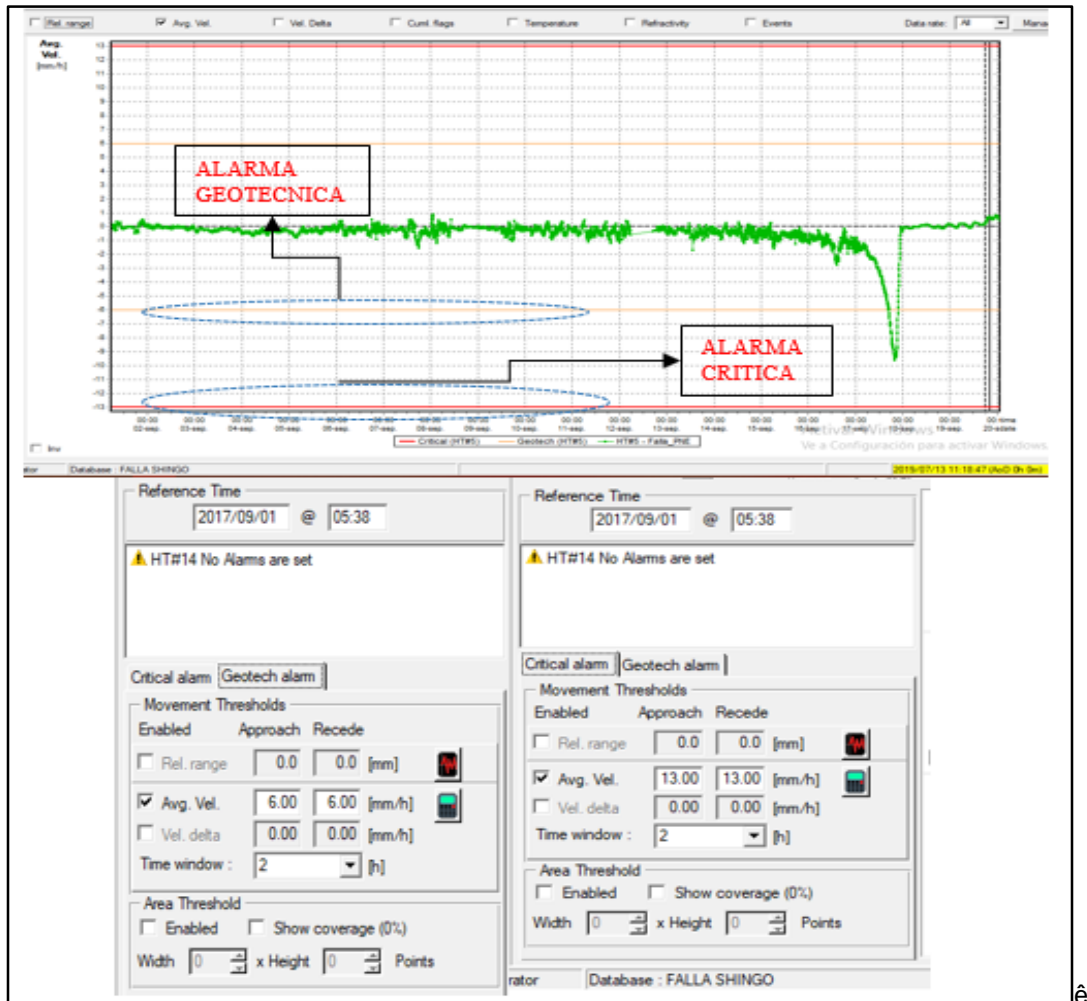


Figura 32: Anteriores umbrales de alarma en la pared Nor-Este del tajo.

Fuente: Radar Reutech MSR 300

En la figura 33 se muestra el desplazamiento acumulativo y modificado de los datos originales con respecto al eje horizontal (tiempo), el radar registra el tiempo en fecha y horas lo cual fueron modificados a días, esto se hizo para fines solo de comodidad la hora de hacer los cálculos y en base a regresión polinómica se obtuvo el coeficiente de determinación de 0.9991 para la falla Subfase.

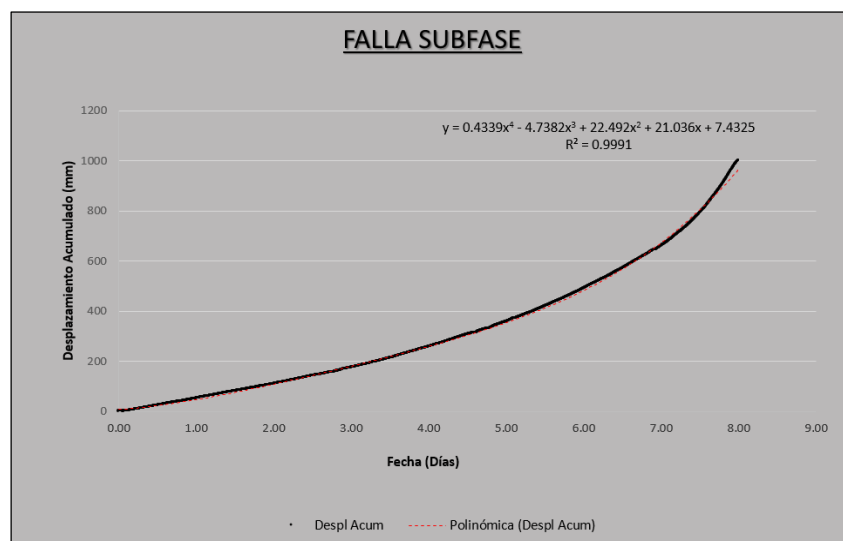


Figura 33: Desplazamiento acumulativo (mm) vs el tiempo (h)- FALLA SUBFASE

Fuente: Propia

La velocidad incremental nos sirve para identificar los valores con los cuales se harán los criterios de alarmas, con una simple inspección visual podemos ver que no hay valores representativos con los cuales se puedan generar criterios de alarmas. (Ver figura 34)

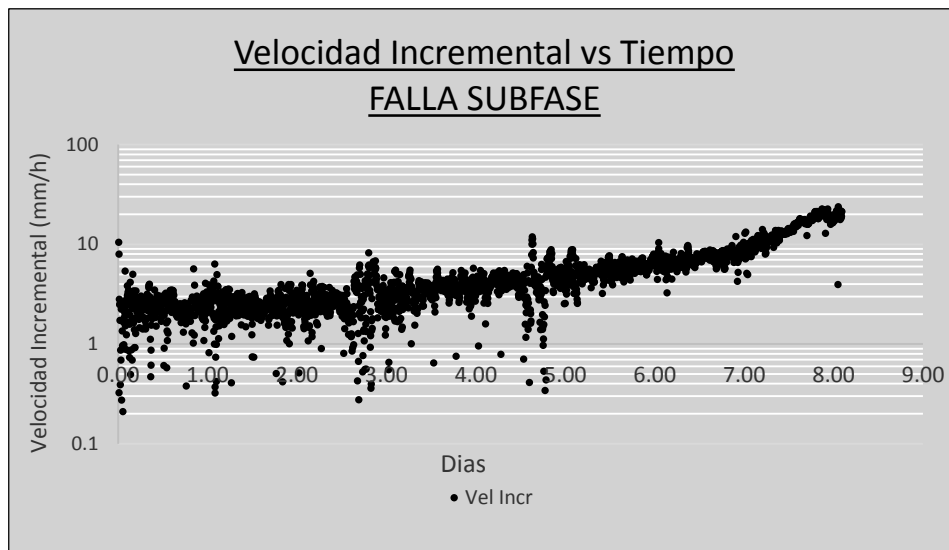


Figura 34: Velocidad Incremental (mm/h) vs el tiempo (h)- FALLA SUBFASE

Fuente: Propia

El análisis estadístico no se muestra que hay una distribución normal marcada es por eso por lo que no se puede inferir por estadística descriptiva los valores para los criterios.

El sesgo de la distribución nos muestra que no será posible obtener criterios de alarmas.

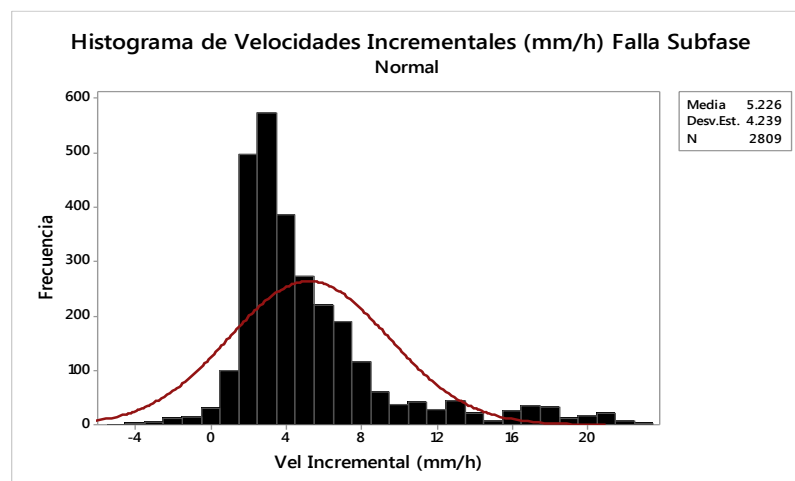


Figura 35: Velocidad Incremental (mm/h) vs el tiempo (h) seteado con los criterios de alarma-FALLA SUBFASE

Fuente: Propia

3.2 Calcular velocidades de colapso por el método de Broadbent y Zavodni (1978 a 1982)

Broadbent y Zavodni estudiaron el comportamiento del desplazamiento acumulado de distintos taludes de roca para determinar la velocidad de colapso, los resultados permitieron obtener el valor de una constante ($K=2$) a partir de la relación de la velocidad media incremental (V_m) y la velocidad inicial (V_o) en todos los taludes de rocas estudiados, esta constante permitió ajustar la fórmula propuesta, que está en función de la velocidad inicial por la constante determinada al cuadrado.

A continuación, se muestra la relación de fórmulas propuestas por Broadbent y Zavodni.

La constante K es definida como:

$$K = \frac{V_{mp}}{V_o}$$

Ecuación 7: Constante K

La ecuación general para la gráfica de una línea semi-logarítmica tiene la siguiente forma:

$$V = C e^{st}$$

Ecuación 8: Línea semi-logarítmica

Donde V es la velocidad, C es la intercepción de la línea sobre el eje del tiempo, e es la base del logaritmo natural, S es la pendiente de la velocidad y t es el tiempo. Por lo tanto, la velocidad en algún tiempo está dado por:

$$V = V_o e^{st}$$

Ecuación 9: Velocidad en algún tiempo

Combinando las ecuaciones (06) y (07) se obtiene la siguiente relación para la velocidad de colapso V_{col} :

$$V_{col} = V_o k^2$$

Ecuación 10: Velocidad de Colapso

En la figura 36 se visualiza específicamente la etapa progresiva donde se puede determinar que la falla empezó acelerar su movimiento el 17/09/2017 desde las 05:58 am y hasta las 20:04 pm que colapso, donde ha pasado un total de 14 horas con 06 minutos.

En la figura 37 se observa la velocidad incremental y el tiempo (h), la velocidad incremental fue hallada en base a las lecturas monitoreadas de la última y penúltima lectura del tiempo y el desplazamiento acumulativos.

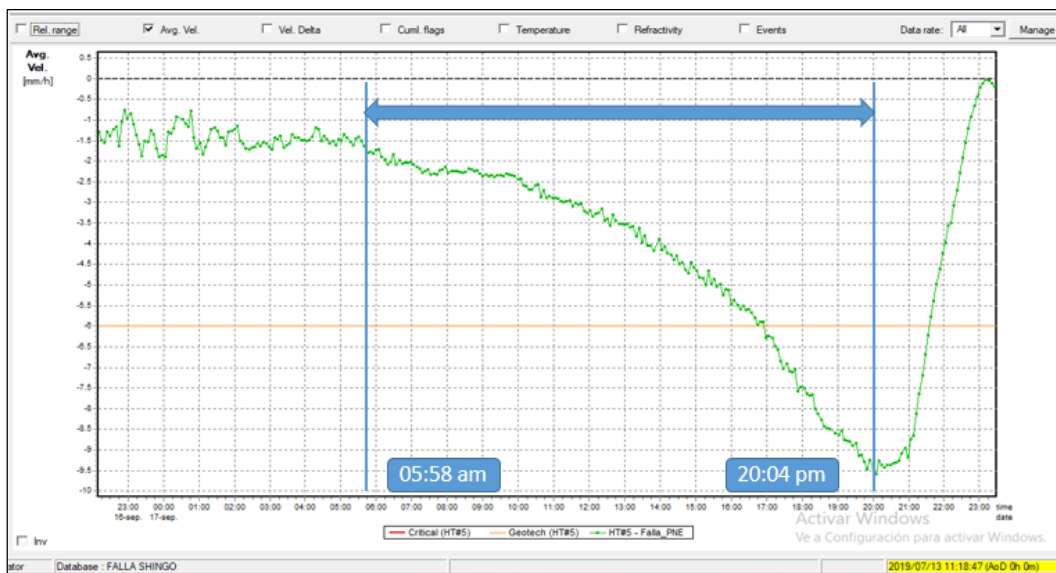


Figura 36: Gráfica de velocidad promedio vs tiempo visualizado desde el monitor vinculado- FALLA SHINGO

Fuente: Radar Reutech MSR 300

El tiempo total transcurrido en la etapa progresiva hasta el colapso en la falla Shingo es de 14 horas y 06 minutos: por lo tanto, podemos hallar que el tiempo medio (t_m).

Tabla 7: Tiempo inicial y tiempo medio del monitoreo-FALLA SHINGO

	TIEMPO (horas)
$t_0 = \text{Tiempo Inicial}$	0 h
$t_m = \text{tiempo Medio}$	7.1 h

Fuente: Propia

Para una mejor visualización de la gráfica exponencial se trabajó con escala logarítmica en el eje de las ordenadas.

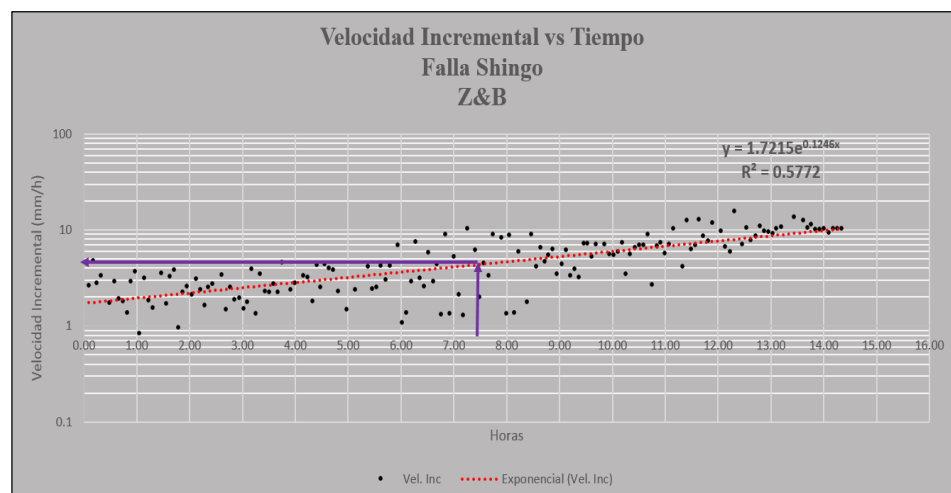


Figura 37: Velocidad incremental (mm/h) vs el tiempo (h) –FALLA SHINGO

Fuente: Propia

Usando la ecuación general para la gráfica de una línea semi-logarítmica:

$$V = Ce^{st}$$

$$V = 1.7215e^{0.1246t}$$

Donde V es la velocidad, C es la intercepción de la línea sobre el eje del tiempo, e es la base del logaritmo natural, S es la pendiente de la velocidad y t es el tiempo. Por lo tanto, la velocidad en algún tiempo está dado por:

$$V = V_o e^{st}$$

$$C=1.7215 ; s= 0.1246$$

Velocidad inicial (V_o)

$$V_{(o)} = 1.7215e^{0.1246(0)}$$

$$V_{(o)} = 1.72 \text{ mm/h}$$

Velocidad media (V_m)

$$V_{(7.1)} = 1.7215e^{0.1246(7.1)}$$

$$V_{(7.1)} = 4.1 \text{ mm/h}$$

Para hallar la constante K remplazamos en la fórmula propuestas por Broadbent y Zavodni. La constante K es definida como:

$$K = \frac{V_{mp}}{V_o} = \frac{4.1 \text{ mm/h}}{1.7 \text{ mm/h}} = 2.4$$

Para hallar la Velocidad de Colapso de la Falla Shingo se combinan las ecuaciones (07) y (08) se obtiene la siguiente relación para la velocidad de colapso V_{col} :

$$V_{col} = V_o k^2$$

$$V_{col} = 1.7215 (2.4)^2$$

$$V_{col} = \mathbf{9.7 \text{ mm/h}}$$

El radar realiza cálculos de velocidad medias con medias móviles, en ese sentido la velocidad de colapso obtenido con el radar solo es semejante al calculado con el método de Zavodni and Broadbent. (Ver figura 38)

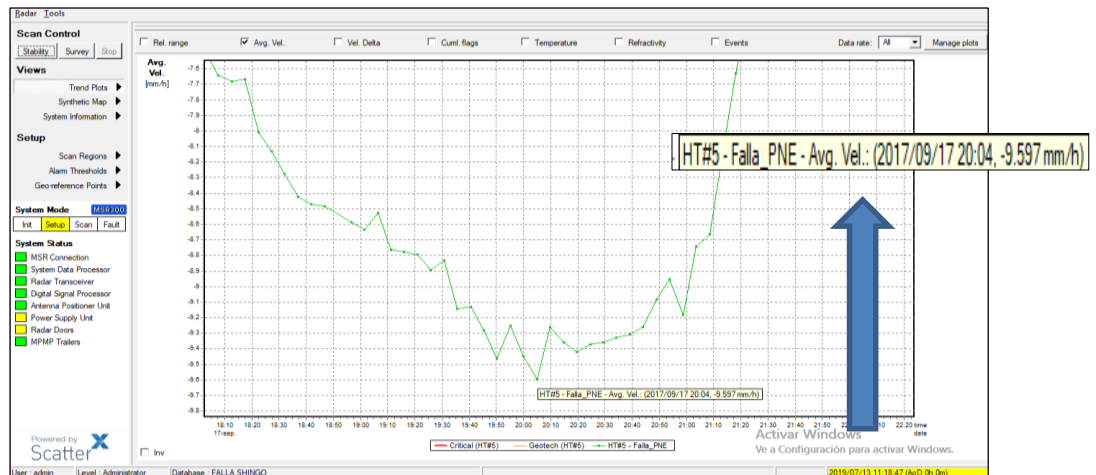


Figura 38: Velocidad de colapso hallado por el radar Reutech MSR 300 en la falla Shingo.

Fuente: Radar Reutech MSR 300

Con respecto a la falla Subfase en la figura 39 se visualiza específicamente la etapa progresiva donde se puede determinar que la falla empezó acelerar su movimiento el 05/03/2017 desde las 03:26 am y hasta el día 05/03/2017 a las 14:02 pm que colapso, donde ha pasado un total de 10 horas con 36 minutos.

En la gráfica 40 se observa la velocidad incremental y el tiempo (h), la velocidad incremental fue hallada en base a las lecturas monitoreadas de la última y penúltima lectura del tiempo y el desplazamiento acumulativos.

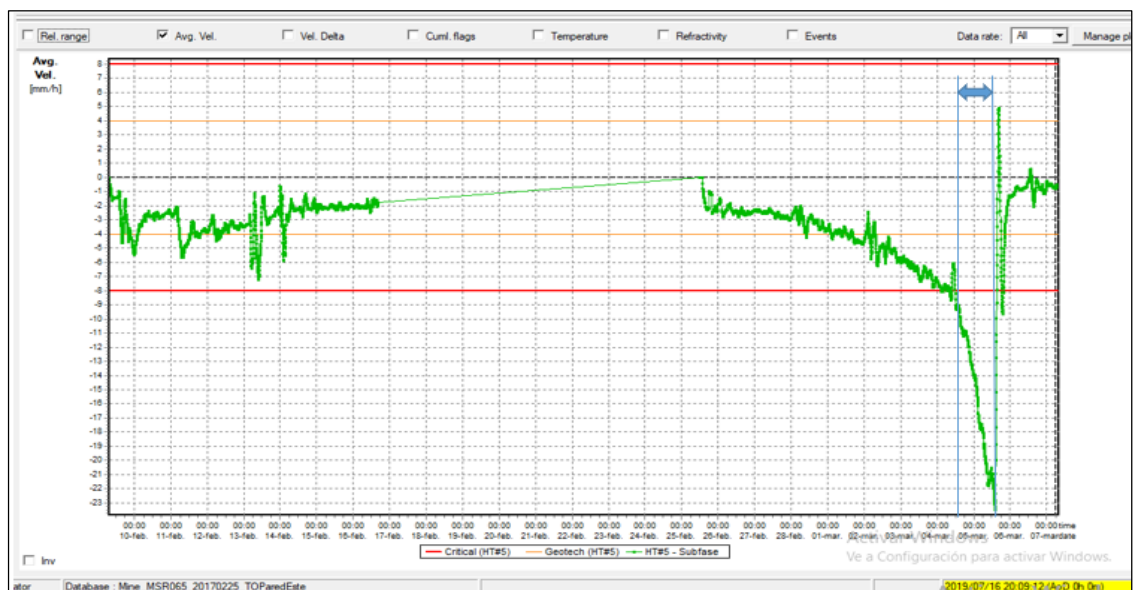


Figura 39: Gráfica de velocidad promedio vs tiempo visualizado desde el monitor vinculado al Radar – FALLA SUBFASE.

Fuente: Radar Reutech MSR 300

El tiempo total transcurrido en la etapa progresiva hasta el colapso en la falla Sub Fase es de 10 horas y 36 minutos por lo tanto podemos hallar que el tiempo medio (t_m)

Tabla 8: Tiempo inicial y tiempo medio del monitoreo-FALLA SUBFASE

	TIEMPO (horas)
$t_0 = \text{Tiempo Inicial}$	0 h
$t_m = \text{tiempo Medio}$	5.3 h

Fuente: Propia

Para una mejor visualización de la gráfica exponencial trabajaron con escala logarítmica en el eje de las ordenadas.

Para dar confiabilidad a la información se realizó la tendencia de regresión exponencial, determinando así un coeficiente de determinación mayor a 0.6.

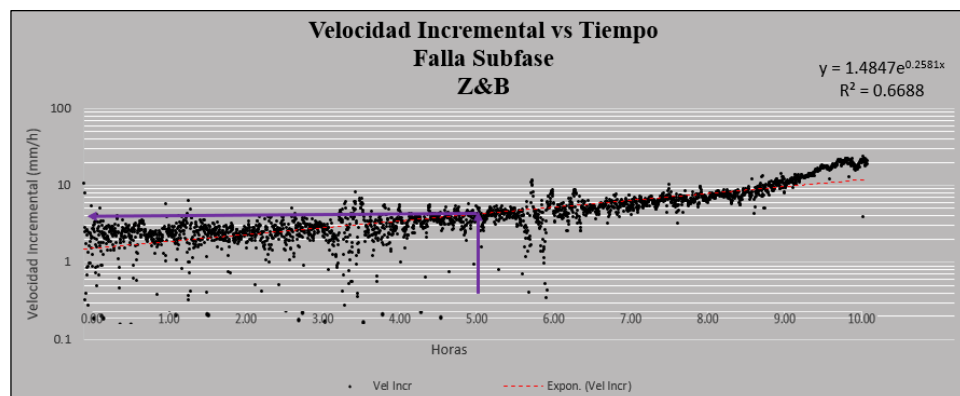


Figura 40: Velocidad incremental vs el tiempo –FALLA SUBFASE

Fuente: Propia

Usando la ecuación general para la gráfica de una línea semi-logarítmica:

$$V = Ce^{st} \quad (06)$$

$$V = 1.4847e^{0.2581t}$$

Donde V es la velocidad, C es la intercepción de la línea sobre el eje del tiempo, e es la base del logaritmo natural, S es la pendiente de la velocidad y t es el tiempo. Por lo tanto, la velocidad en algún tiempo está dado por:

$$V = V_0 e^{st} \quad (07)$$

$$C=1.4847; s=0.2581$$

Velocidad inicial (V_0)

$$V_{(0)} = 1.4847e^{0.2581(0)}$$

$$V_{(0)} = 1.4847 \text{ mm/h}$$

Velocidad media (V_m)

$$V_{(4.05)} = 1.4847 e^{0.2581(5.3)}$$

$$V_{(4.05)} = 5.77 \text{ mm/h}$$

Para hallar la constante K remplazamos en la fórmula propuestas por Broadbent y Zavodni.

La constante K es definida como:

$$K = \frac{V_{mp}}{V_0} = \frac{5.77 \text{ mm/h}}{1.48 \text{ mm/h}} = 3.9$$

Para hallar la Velocidad de Colapso de la Falla Subfase se combinan las ecuaciones (06) y (07) se obtiene la siguiente relación para la velocidad de colapso V_{col} :

$$V_{col} = V_0 k^2 \quad (08)$$

$$V_{col} = 1.4847 (3.9)^2$$

$$V_{col} = 22.58 \text{ mm/h}$$

El radar realiza cálculos de velocidad medias con medias móviles, en ese sentido la velocidad de colapso obtenido con el radar solo es semejante al calculado con el método de Zavodni and Broadvent. (Ver figura 41)

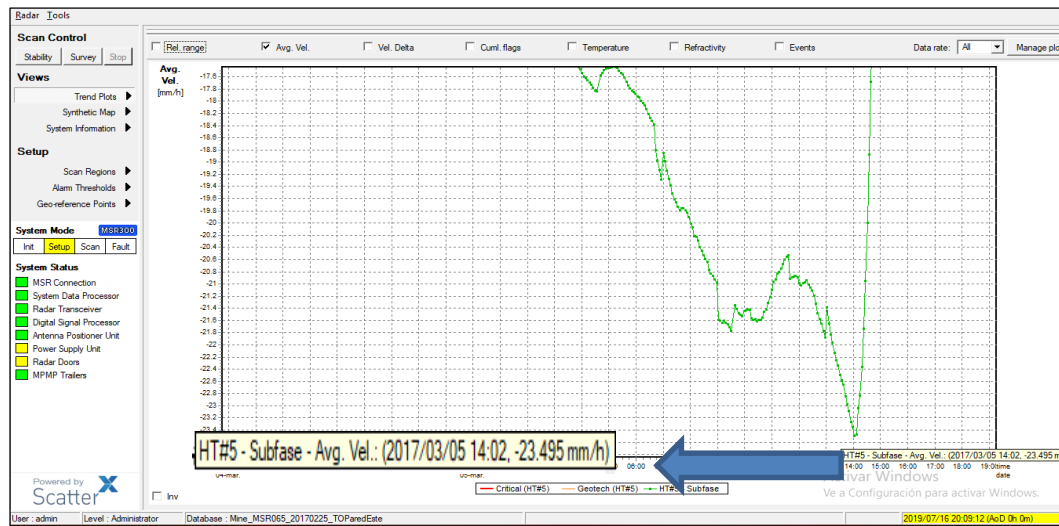


Figura 231: Velocidad de colapso hallado por el radar Reutech MSR 300 en la falla Shingo.

Fuente: Radar Reutech MSR 300

CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

4.1 Discusión

Con la presente investigación se ha logrado cumplir con los objetivos presentados en la investigación, se ha evaluado la determinación de umbrales de alarma y se han identificado la velocidad de colapso con la ayuda de back análisis de eventos geotécnicos (falla Shingo y Subfase) basados en el tratamiento estadístico y la metodología de Broadbent y Zavodni (1978 a 1982).

Discusión 1:

Según el objetivo específico: Establecer umbrales de alarma de la pared Nor-Este del tajo Tapado Oeste, los resultados obtenidos en la figura 34 indican los criterios seteados donde la alarma geotécnica es 6 mm/h y la alarma crítica es 9 mm/h, obteniendo una regresión óptima del análisis, considerando un coeficiente de determinación de $R^2 = 0.984$ y $R^2 = 0.9991$ (figura 9 y 10). El coeficiente de determinación debe ser lo más cercano posible a 1 (Emery, 2013, p.23). En base a los datos obtenidos del radar y observaciones in situ, se determinó un modelo de criterio de alertas en función a la velocidad y del tiempo. De acuerdo con el análisis de la data obtenida del instrumento, planteo distintos tipos de regresión con sus respectivas ecuaciones (lineal, exponencial y polinómicas), reafirmando lo mencionado por Cruces (2014) donde indica que: “Con el empleo de instrumentos geotécnicos se pueden medir los parámetros de desplazamientos y velocidades con la finalidad de detectar movimientos en los taludes”, con los autores Leyva (2014), Díaz y Gonzáles (2015) donde indican que : “La velocidad puede ser concebida como una razón de cambio del espacio con el tiempo” y con Ramirez (2019) donde

indica que a través en análisis estadístico en base a las desviaciones estándar del universo de datos y una data histórica del radar se determinan umbrales de alarma.

Discusión 2:

Según el objetivo específico: Calcular velocidades de colapso de la pared Nor-Este del tajo Tapado Oeste, los resultados mostrados en las figuras 38 y 41 de la falla Shingo y Subfase son $V_{col} = 9.7 \text{ mm/h}$ y $V_{col} = 22.58 \text{ mm/h}$, utilizando la ecuación 9 y comparado con el estudio de investigación de (Paredes y Velasquez, 2013) en el trabajo denominado Modelamiento determinístico para obtener criterios de alarmas, tiempo y velocidad de colapso en la construcción del botadero Tucush compañía Minera Antamina S.A., donde concluye que el metodología de Broadbent y Zavodni (1978 a 1982) es útil para hallar la velocidad de colapso de un botadero, con esta investigación corroboro la utilidad de la metodología y en realizar el análisis de desplazamiento de distintos taludes de rocas identificando que el análisis para determinar la velocidad de colapso se tenía que realizar con la data del movimiento progresivo, es el estado plástico del material, cabe mencionar que por lo observado este estado presenta una tendencia de regresión exponencial manifestando una velocidad acelerada.

El radar Reutch MSR 300 considerado instrumento de la investigación cuenta con certificados de calibraciones anuales realizados y validados por la empresa Clonsa Ingeniería y certificado por Reutech Radar Systems. (Anexo 1 y 2).

4.2 Conclusiones

- En la tesis se ha considerado la presentación y análisis de información de dos fallas: Shingo y Subfase que colapsaron por última vez en los meses de marzo y octubre del 2017, en la pared Nor-Este del tajo Tapado Oeste, en la actualidad la Falla Subfase está siendo minada y la falla Shingo remediado con un monitoreo geotécnico continuo.
- Se estableció los umbrales de alarma a un modelo determinado de la falla shingo obteniendo los siguientes criterios de alarmas: alarma geotécnica: 6 mm/h y alarma crítica: 9 mm/h.
- No se estableció umbrales de alarma a un modelo determinado de la falla subfase por tener un sesgo de la distribución anormal en base al análisis estadístico realizado, a consecuencia de no tener un monitoreo continuo a la falla.
- Se calculó la velocidad de colapso para el criterio de cierre del tajo empleando la metodología por Broadbent y Zavodni cuando supere la velocidad de 10 mm/h, cuando la tendencia del movimiento progresivo acelerado es exponencial se concluye que podría estar en el inicio de una posible falla, en este caso cerrar el tajo si supera la velocidad de 10 mm/h.
- Se calculó la velocidad de colapso para el criterio de cierre del tajo empleando la metodología por Broadbent y Zavodni será cuando supere la velocidad de 21 mm/h. y cuando la tendencia del movimiento progresivo acelerado es exponencial se concluye que podría estar en el inicio de una posible falla, en este caso cerrar el tajo si supera la velocidad de 21 mm/h.
- Indicar los umbrales de alarma y la velocidad de colapso depende del tipo de material, condiciones operacionales, condiciones del macizo rocoso, estructurales

y de los mecanismos de falla y frecuencia de monitoreo, por lo tanto se debe tener un alto nivel de cuidado y evaluar si es apropiado o no para otros sitios.

REFERENCIAS

- ARIAS, Fideas. El proyecto de investigación. Introducción a la metodología científica. 6.^a ed. Caracas: Episteme, 2012. 142 pp.
- BORJA, Manuel. Metodología de la investigación científica para ingenieros. Chiclayo: s.n., 2012. 38 pp.
- CALDERON, F. (2016). Control de inestabilidad de taludes del tajo la Quinoa Oeste – Minera Yanacocha (Tesis de pregrado). Universidad Cesar Vallejo, Lima.
- CASTRO, J. (2015). Software ScatterX. 3^o Conferencia de Usuarios Radares Reutech Conferencia llevado a cabo por Clonsa, Lima, Perú.
- CALL, RD & Savely, JP 1990, Open pit rock mechanics in surface mining, 2nd edition, Society for Mining, Metallurgy & Exploration, Littleton.
- CRUCES Seguel, Hernaldo. Instrumentación geotécnica para el mejoramiento de la seguridad en taludes de rípios división Radomiro Tomic CODELCO Chile. Tesis (Ingeniero Civil Industrial en Minas). Antofagasta: Universidad de Antofagasta, Facultad de Ingeniería, 2014. 102 pp.
- DIAZ y Gonzales (2015). Reflexiones sobre los conceptos velocidad y rapidez de una partícula en física. Centro de Investigaciones de Matemática y Física. Instituto Pedagógico de Caracas, UPEL.
- GIANCOLI, Douglas. 2008. Física para Ciencias e Ingenierías. 4.^a ed. Ciudad de México: Pearson, 2008. Vol. I, 635 pp.
- HANNON, J. (2007). *Slope stability radar* (Tesis de pregrado). Queen's University, Canada.

- HERNÁNDEZ, Roberto, FERNÁNDEZ, Carlos y BAUTISTA, Pilar. Metodología de la investigación. 6.^a ed. México D.F.: MacGraw-Hill, Interamericana Editores S.A. de C.V., 2014. 613 pp.
- IDS Ingegneria dei Sistemi. Training Course IBIS FM Image by interferometric survey. Pisa, Italia: IDS, 2012. 297 pp.
- INTELLTECH. Slope Health Monitoring System. Foz de Iguazu, Brasil: Intelltech, 2017. 178 pp.
- MINERA YANACOCCHA. (2012). Estudio de estabilidad de taludes del tajo el Tapado Oeste Fase 3.
- MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS. (2019). Estadística de accidentes mortales en el sector minero. Lima. Recuperado de http://www.minem.gob.pe/_estaditica.php?idSector=1&idEstadistica=12464.
- OLIVARES, W. (2017). Implementación del sistema de monitoreo geotécnico integral para evaluar el comportamiento de taludes en la mina Antapaccay región cusco (Tesis de pregrado). Universidad Cesar Vallejo, Lima.
- OSEDA, Dulio. Metodología de la investigación. Huancayo: Pirámide, 2011
- PAREDES Lopez, Euler Daniel. Cálculo del inicio de velocidad de colapso de la falla del botadero de Tucush en la mina Antamina, año 2010. Tesis (Ingeniero de minas). Huaraz: Universidad Nacional Santiago Antunez de Mayolo, Facultad de Ingeniería de Minas, Geología y Metalurgia, 2013. 104 pp.
- RAMIREZ (2019). Reducción de impactos generados por la ocurrencia de peligros geotécnicos en cerro corona mediante la configuración de umbrales por sectores utilizando radar geotécnico. Instituto de Seguridad Minera.

- REUTECH. Manual de usuario del radar MSR 300. Greyling: Reutech Mining, 2016. 202 pp.
- SJÖBERG, J (1999). Analysis of large scale rock slopes, Lulea University of Technology, Lulea.
- UNIVERSIDAD DE CHILE. (2013). Geoestadística (Número de la publicación). Recuperado de https://www.ucursos.cl/usuario/f697544fb48474f4153ef2aafbe4c963/mi_blog/r/Geoestadistica.pdf
- VILLENA, Rafa. Antenas para todos. 2008.
- ZAVODNI, Z & BROADBENT, C. (1978), 'Slope failure kinematics' in proceedings of the nineteenth US symposium on rock mechanics, vol. 2, American Rock Mechanics Association, Alexandria.

ANEXOS

Anexo 1: Certificado de Calibración-2016




CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

Número de Certificado : MSR065_2016-01-14
 Tipo de MSR : MSR300
 Número de Serie : 065
 Mina : Yanacocha
 Fecha de Calibración : 2016-01-14

Este certificado indica los resultados de la calibración del radar MSR

Prueba de alineamiento (BoreSight Test)		
Δ Ángulo de AZ:	0.0667°	Aprobado
Δ Ángulo de EL:	0.0629°	Aprobado
Prueba de escaneo de Estabilidad (Stability Scan Test)		
2 mm (48° ± 5°)	43°	Aprobado
1 mm (24° ± 5°)	23°	Aprobado
0.5 mm (12° ± 5°)	14°	Aprobado
0.2 mm (Change)	6°	Aprobado
Prueba de exactitud de rango (Range Accuracy Test)		
Valor RMS:mm	38.41	Aprobado

Fecha de próxima calibración : 2016-07-14



Marcelo Zamora Ugalde
Técnico Certificado Reutech





Cristián Castro Ramírez
Gerente de Operaciones

En Chile: Martínez Cruz N°85, Placilla de Peñuelas - Fono: +56 (32) 2221022
 En Perú: Calle Wacaypata N°499 Urb Tupac Amaru San Luis, Lima - Fono: +51 (1) 222 5321

Anexo 2: Certificado de Calibración-2017



CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

Número de Certificado : MSR065_2017-08-15
 Tipo de MSR : MSR 300
 Número de Serie : 065
 Mina : Yanacocha
 Fecha de Calibración : 2017-08-15

Este certificado indica los resultados de la calibración del radar MSR

Prueba de alineamiento (BoreSight Test)		
Δ Ángulo de AZ ($\pm 0.25^\circ$)	0.0107°	Aprobado
Δ Ángulo de EL ($\pm 0.25^\circ$)	0.0889°	Aprobado
Prueba de escaneo de Estabilidad (Stability Scan Test)		
2 mm ($48^\circ \pm 5^\circ$)	43°	Aprobado
1 mm ($24^\circ \pm 5^\circ$)	26°	Aprobado
0.5 mm ($12^\circ \pm 5^\circ$)	11°	Aprobado
0.2 mm ($4^\circ \pm 3^\circ$)	5°	Aprobado
Prueba de exactitud de rango (Range Accuracy Test)		
Valor RMS (< 100 mm):	61.368	Aprobado

Fecha de próxima revisión de la calibración : 2018-02-14


 Marcelo Zamora Ugalde
 Técnico certificado Reutech
 Marcelo A. Zamora Ugalde
 Jefe Operaciones
 RPC +51994747887
 RPM +51938804020


 Cristian Castro Ramirez
 Gerente de operaciones

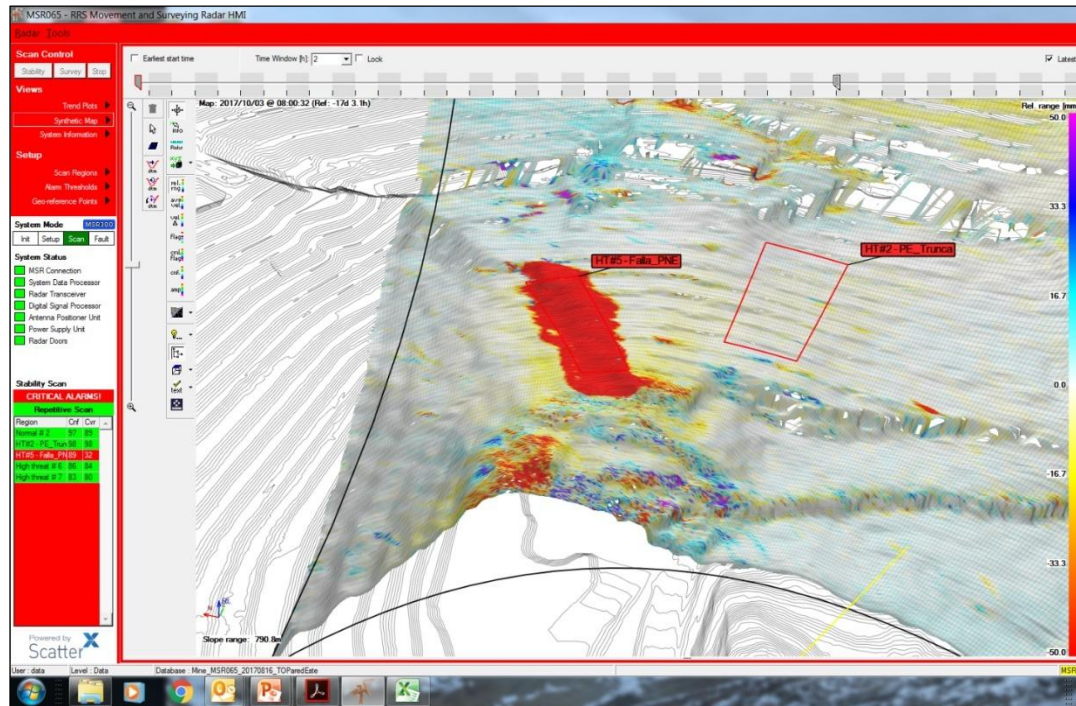


En Chile: Martínez Cruz #85, Placilla de Peñuelas - Fono: +56 (032) 2221022
 En Perú: Calle Wacaypata N°499 Urb Tupac Amaru San Luis, Lima - Fono: +51 (1) 222 5321

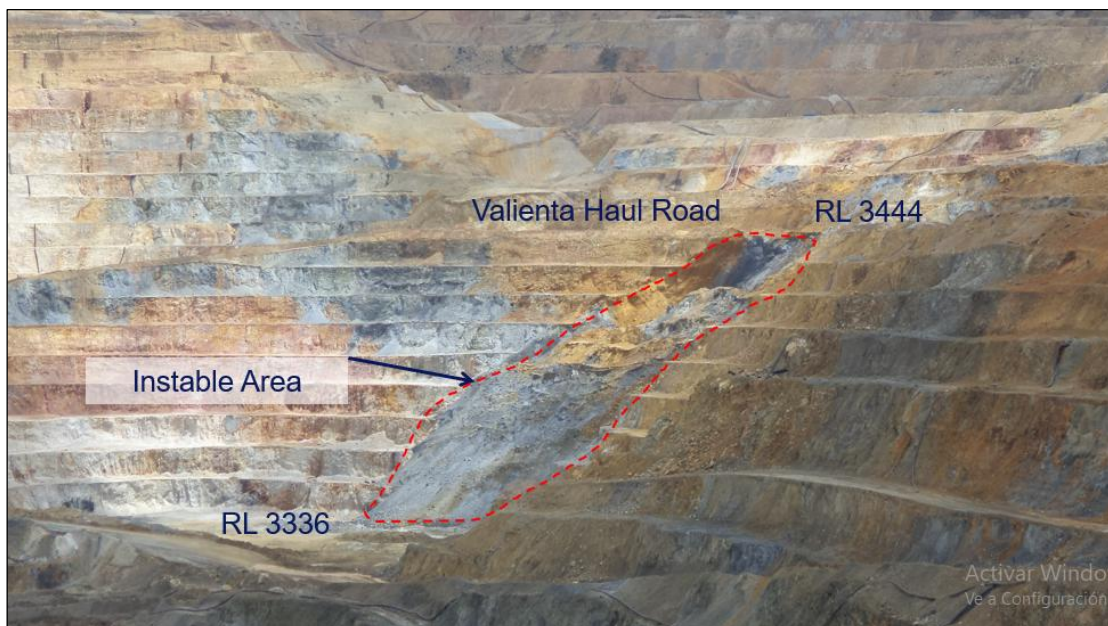
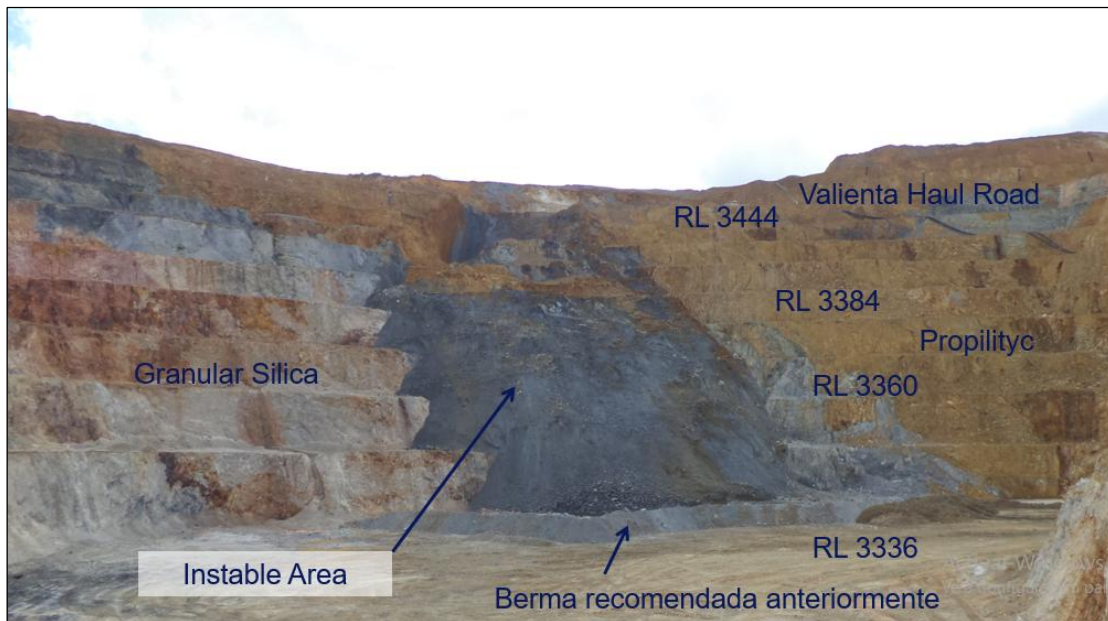
Anexo 3: Fotografías del deslizamiento de la Falla Shingo.



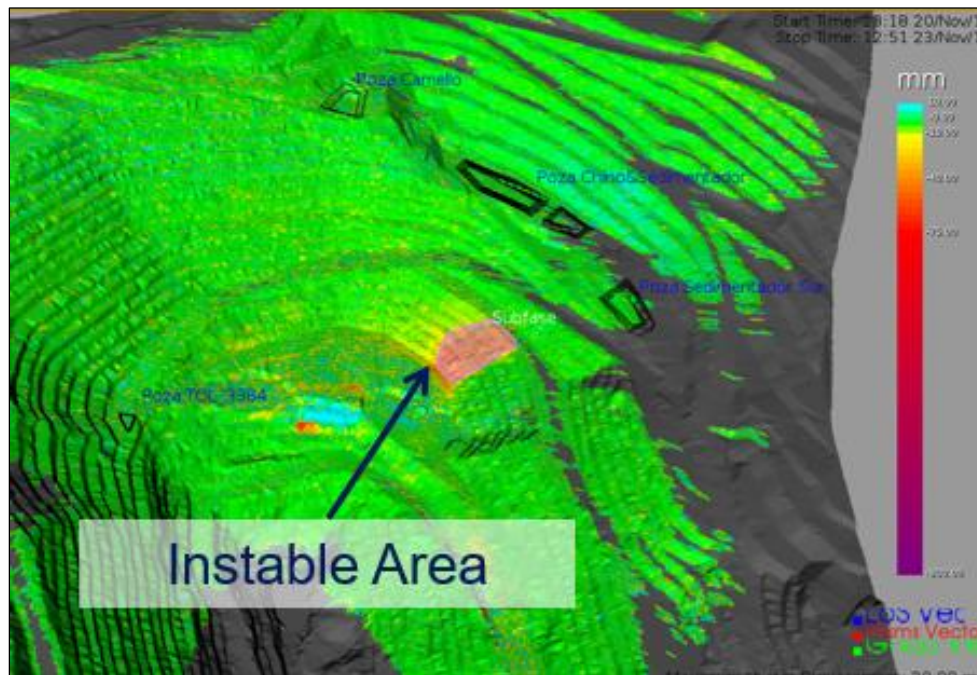
Anexo 4: Fotografía del monitoreo de la Falla Shingo visualizado en el monitor de Dispatch.



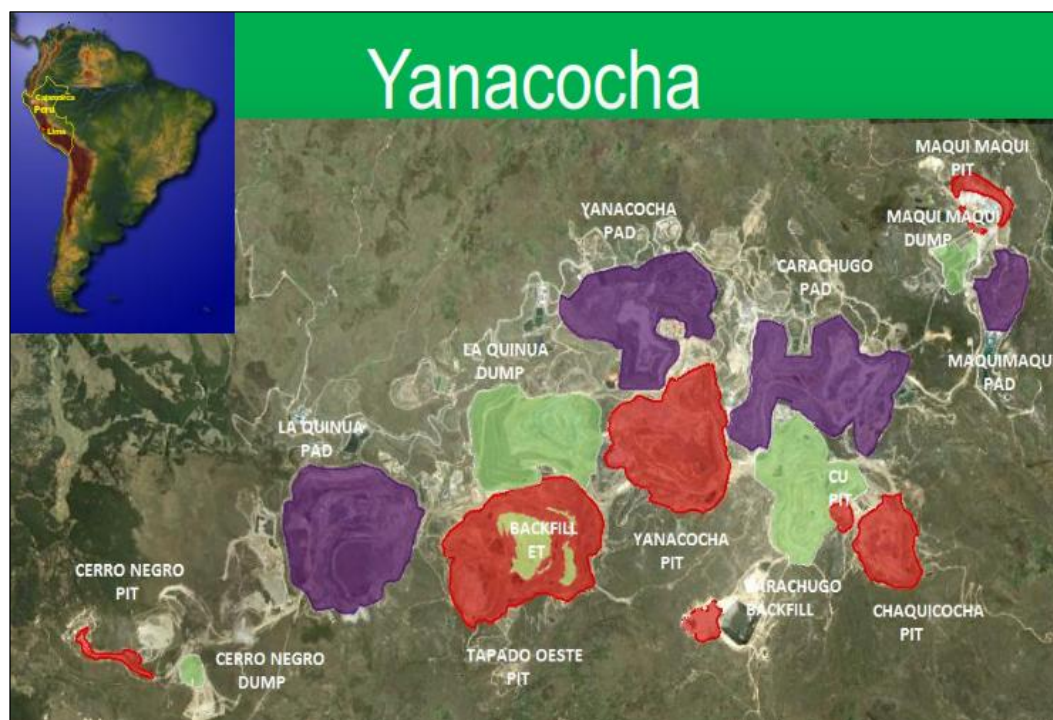
Anexo 5: Fotografías del deslizamiento de la Falla Subfase.



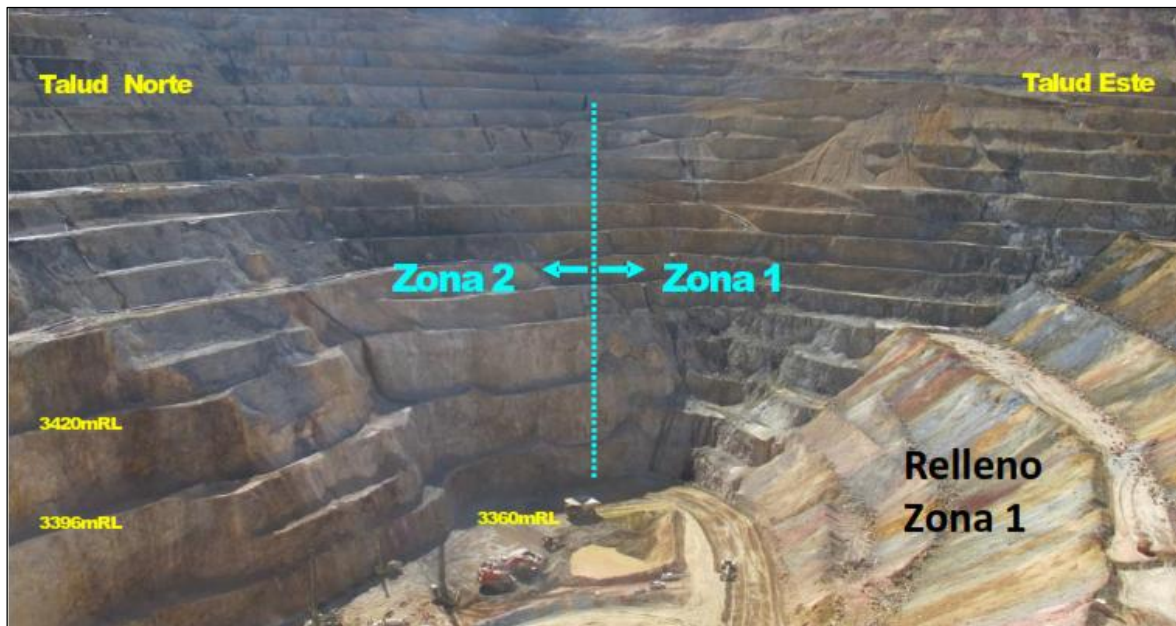
Anexo 6: Fotografía del monitoreo de la Falla Subfase visualizado en el monitor de Dispatch.



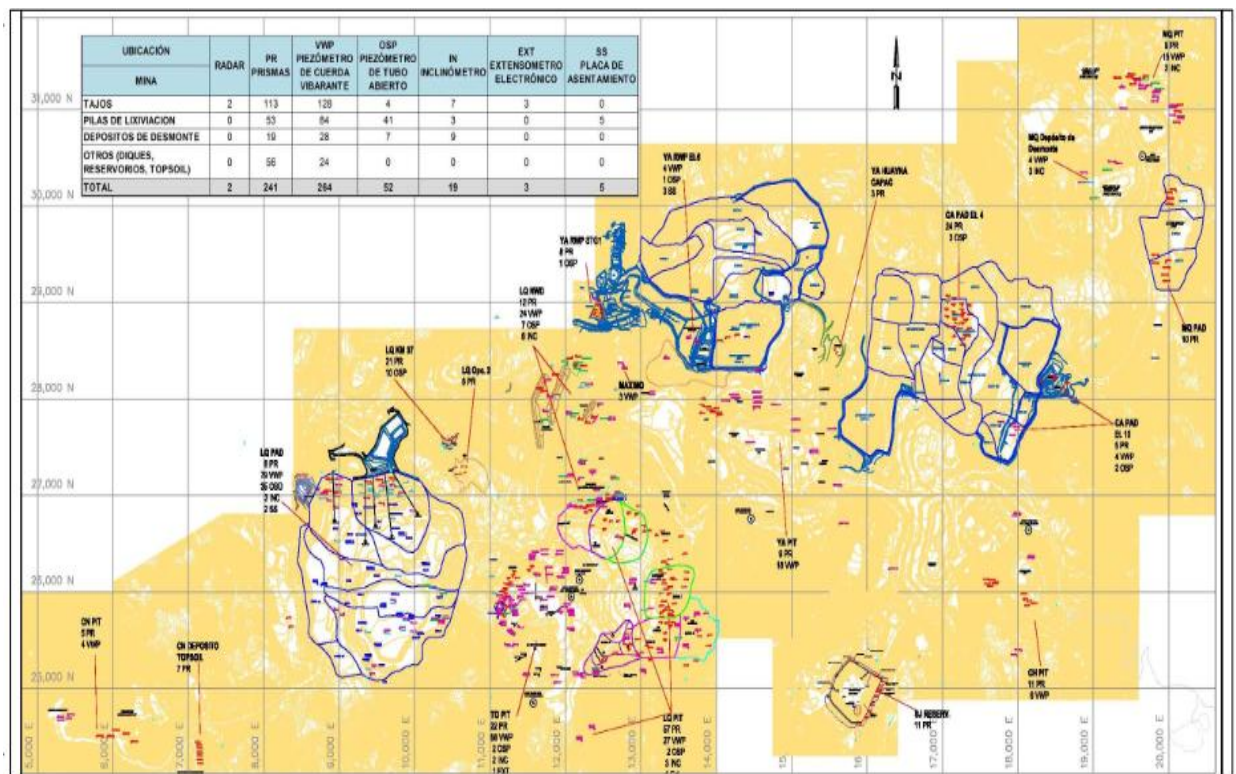
Anexo 7: Fotografías de la ubicación de del Tajo Tapado Oeste- Minera Yanacocha.



Anexo 8: Fotografía de la Pared Nor-Este del tajo Tapado Oeste.



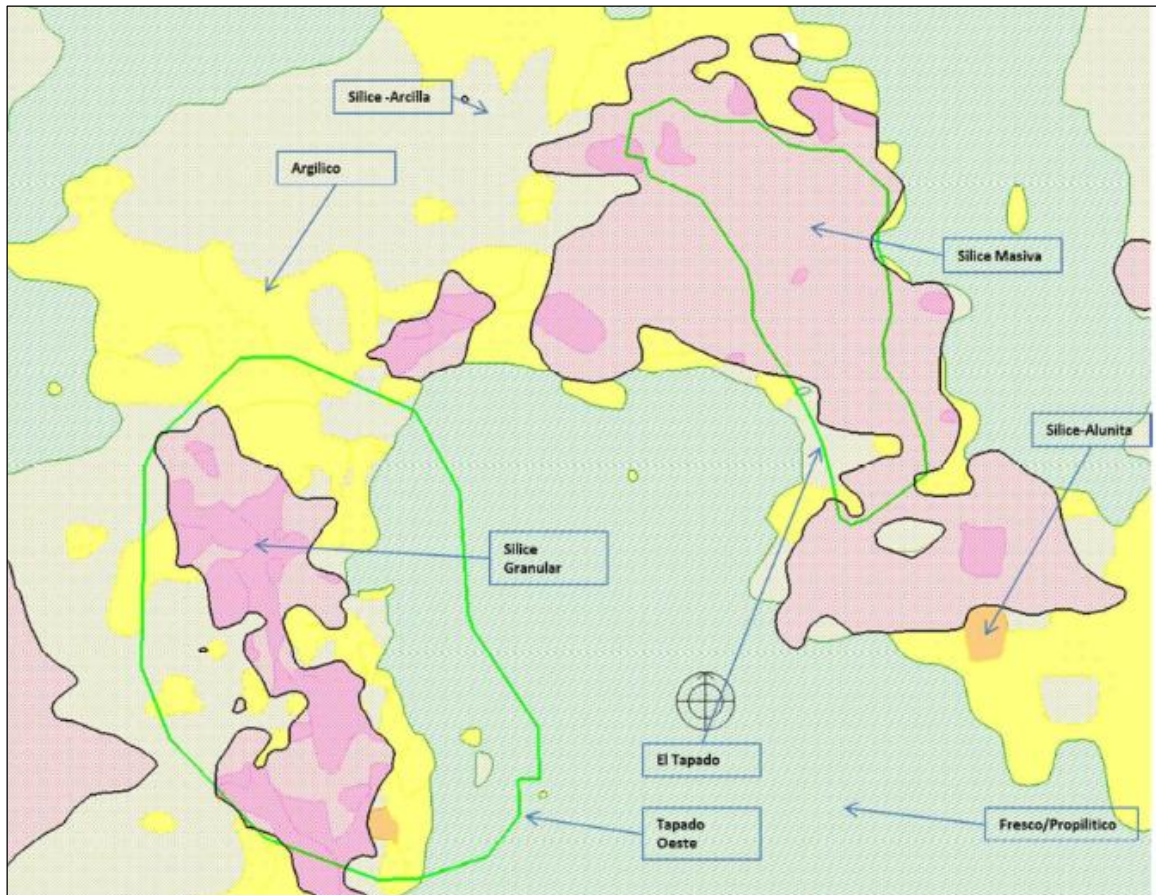
Anexo 9: Gestión del monitoreo geotécnico en Minera Yanacocha.



Anexo 10: Fotografías de las diferentes vistas del Radar Reutech MSR 300.



Anexo 11: Alteraciones en el basamento La Quinua (corte al nivel 3339)



Anexo 12: Matriz de Consistencia

TITULO: DETERMINACION DE UMBRALES DE ALARMA Y VELOCIDAD DE COLAPSO DE LA PARED NOR-ESTE DEL TAJO TAPADO OESTE EN MINERA YANACocha, UTILIZANDO RADAR MSR 300 PARA EVITAR RIESGOS GEOTECNICOS			
PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPOTESIS	METODOLOGÍA
<p>¿Cuáles son los umbrales de alarma y la velocidad de colapso de las fallas Shingo y Subfase en la pared Nor-Este en el Tajo Tapado Oeste de Minera Yanacocha SRL, utilizando el radar Reutech MSR 300??</p>	<p>OBJETIVOS PRINCIPALES</p> <ul style="list-style-type: none"> Determinar los umbrales de alarma y la velocidad de colapso apropiados en la Pared Nor-Este utilizando el radar Reutech MSR 300 basados en el tratamiento estadístico y back análisis de eventos geotécnicos. <p>OBJETIVOS SECUNDARIOS</p> <ul style="list-style-type: none"> Evaluar los umbrales de alarmas del radar Reutech MSR 300 con la acción de activación geotécnica / radar del sitio en el monitoreo geotécnico de Minera Yanacocha. Analizar la velocidad de colapso por el método de 	<p>HIPOTESIS PRINCIPAL:</p> <ul style="list-style-type: none"> Los mecanismos de advertencia anticipada son una parte esencial de los programas de monitoreo continuo de pendientes, pero solo son efectivos si se seleccionan los umbrales de alarma correctos; por lo tanto la determinación e implementación de los umbrales de alarmas y velocidad de colapso de tajo Tapado Oeste en el área de geotécnica de Minera Yanacocha, ayudaran a mejorar la identificación anticipación de eventos de caída de material en los últimos años de explotación del tajo hasta el 2021, evitando pérdidas humanas, materiales y al proceso. <p>HIPOTESIS SECUNDARIA:</p> <ul style="list-style-type: none"> La configuración sectorizada de los umbrales de alarmas, reducirán considerablemente la emisión de las falsas alarmas permiten evaluar correctamente el comportamiento de la estabilidad de taludes de la pared Nor-Este del tajo Tapado Oeste en la mina Yanacocha, región Cajamarca hasta el 2021. Mediante la metodología empleada por Broadbent y Zavodni se obtendrá la velocidad de colapso de la falla Shingo y Subfase de la pared Nor-Este del tajo Tapado oeste y cuando la tendencia del movimiento progresivo acelerado sea exponencial se evalúa que podría estar en el inicio de una posible falla, en este caso cerrar el tajo si supera la velocidad de colapso. 	<p>Tipo de estudio Cuantitativa –descriptiva.</p> <p>Diseño: Semi-Experimental</p> <p>Población: Pared Nor-Este del Tajo Tapado Oeste</p> <p>Muestra: Fallas Geológicas: Falla Shingo Falla Subfase</p> <p>Instrumento: Radar Reutech MSR 300</p> <p>Análisis de Datos: Minitab Excel</p>

Anexo 13: Data Falla Shingo

Date	Time	Relative[mm]	AverageVelocity[mm/h]	VelocityDelta[mm/h]	CumulativeFlags[#]	Temp[degC]	Refractivity[ppm]
01/09/2017	05:38	01/09/2017 05:38	0	0	0	6.5	213.3
01/09/2017	05:42	01/09/2017 05:42	0.064	0.064	56	6.48	213
01/09/2017	05:47	01/09/2017 05:47	-0.0214	-0.0854	113	6.4	213.2
01/09/2017	05:52	01/09/2017 05:52	-0.0796	-0.1435	173	6.34	213.3
01/09/2017	05:57	01/09/2017 05:57	-0.004	0.0174	238	6.4	213.3
01/09/2017	06:02	01/09/2017 06:02	-0.0824	-0.061	300	6.47	213.3
01/09/2017	06:07	01/09/2017 06:07	-0.0329	0.0467	371	6.35	213.3
01/09/2017	06:12	01/09/2017 06:12	0.0187	0.0983	445	6.44	213.1
01/09/2017	06:17	01/09/2017 06:17	-0.0173	-0.0133	519	6.4	213.2
01/09/2017	06:22	01/09/2017 06:22	-0.1221	-0.1181	592	6.59	213.2
01/09/2017	06:26	01/09/2017 06:26	0.0712	0.1536	667	6.6	213.3
01/09/2017	06:31	01/09/2017 06:31	0.0751	0.1575	748	6.8	213.2
01/09/2017	06:36	01/09/2017 06:36	0.0842	0.1171	831	6.45	213
01/09/2017	06:41	01/09/2017 06:41	0.0647	0.0976	917	6.53	213.2
01/09/2017	06:46	01/09/2017 06:46	-0.0979	-0.1166	1000	6.99	212.6
01/09/2017	06:51	01/09/2017 06:51	-0.1399	-0.1586	1087	6.78	212.8
01/09/2017	06:56	01/09/2017 06:56	-0.0295	-0.0122	1179	6.66	212.8
01/09/2017	07:01	01/09/2017 07:01	0.0209	0.0383	1272	6.81	213
01/09/2017	07:06	01/09/2017 07:06	0.0358	0.1578	1364	7.1	212.9
01/09/2017	07:10	01/09/2017 07:10	0.001	0.1231	1454	7.02	212.8
01/09/2017	07:15	01/09/2017 07:15	-0.1049	-0.176	1547	7.58	212.6
01/09/2017	07:20	01/09/2017 07:20	-0.0823	-0.1535	1640	7.92	212.4
01/09/2017	07:25	01/09/2017 07:25	-0.0693	-0.1444	1731	8.23	212.2
01/09/2017	07:30	01/09/2017 07:30	-0.0257	-0.1008	1818	8.45	211.8
01/09/2017	07:35	01/09/2017 07:35	0.0066	-0.0777	1917	9.07	211.6
01/09/2017	07:40	01/09/2017 07:40	-0.203	-0.2713	2026	8.89	211.3
01/09/2017	07:45	01/09/2017 07:45	-0.1636	-0.2156	2147	8.86	211.3
01/09/2017	07:50	01/09/2017 07:50	-0.0729	-0.1206	2276	9.08	211.3
01/09/2017	07:54	01/09/2017 07:54	-0.0954	0.0022	2412	9.62	211.2
01/09/2017	07:59	01/09/2017 07:59	-0.0998	-0.0016	2556	10.33	210.7
01/09/2017	08:04	01/09/2017 08:04	-0.0001	0.1144	2716	10.36	210.2
01/09/2017	08:09	01/09/2017 08:09	-0.0464	0.0717	2881	11.24	209.9
01/09/2017	08:14	01/09/2017 08:14	0.1124	0.1822	3056	11.23	209.3
01/09/2017	08:19	01/09/2017 08:19	0.0632	0.067	3230	11.48	209.1
01/09/2017	08:24	01/09/2017 08:24	-0.3938	-0.2485	3405	11.38	209
01/09/2017	08:29	01/09/2017 08:29	0.5398	0.3539	3590	11.06	209
01/09/2017	08:38	01/09/2017 08:38	0.3463	0.2006	3812	10.94	209
01/09/2017	08:43	01/09/2017 08:43	0.2222	0.1429	4053	10.63	209.3
01/09/2017	08:48	01/09/2017 08:48	0.2392	0.1462	4350	11.36	209.3
01/09/2017	08:53	01/09/2017 08:53	0.2743	0.1598	4797	11.4	208.9
01/09/2017	08:58	01/09/2017 08:58	0.2903	0.2311	5287	11.23	208.6
01/09/2017	09:03	01/09/2017 09:03	0.2404	0.1927	5813	11.55	208.8
01/09/2017	09:08	01/09/2017 09:08	0.3093	0.2186	6345	11.52	208.7
01/09/2017	09:13	01/09/2017 09:13	0.2346	0.1692	6908	11.45	208.2
01/09/2017	09:17	01/09/2017 09:17	0.2038	0.1458	7457	12.13	208.5
01/09/2017	09:22	01/09/2017 09:22	0.3226	0.2006	8038	11.66	208.5
01/09/2017	09:27	01/09/2017 09:27	0.5612	0.3002	8627	12.07	207.2
01/09/2017	09:32	01/09/2017 09:32	0.4227	0.2129	9234	12.25	206.6
01/09/2017	09:37	01/09/2017 09:37	0.4327	0.2093	9845	12.53	206.7
01/09/2017	09:42	01/09/2017 09:42	0.3476	0.2704	10507	12.5	206.5
01/09/2017	09:47	01/09/2017 09:47	0.3316	0.2432	11156	13.58	205.4
01/09/2017	09:52	01/09/2017 09:52	0.3216	0.1937	11849	13.18	205.2
01/09/2017	09:57	01/09/2017 09:57	0.3102	0.1992	12432	13.71	204.8
01/09/2017	10:01	01/09/2017 10:01	0.2989	0.1959	13028	13.61	203.9
01/09/2017	10:06	01/09/2017 10:06	0.2665	0.131	13631	13.82	203.9
01/09/2017	10:11	01/09/2017 10:11	0.2609	0.151	14253	13.24	203.4

Date	Time	Relative[mm]	AverageVelocity[mm/h]	VelocityDelta[mm/h]	CumulativeFlags[#]	Temp[degC]	Refractivity[ppm]
01/09/2017	10:16	0.2601	0.0725	0.0265	14884	13.47	203.6
01/09/2017	10:21	0.254	0.0937	0.0542	15521	13.68	203.1
01/09/2017	10:26	0.2763	0.3292	0.4626	16191	14.04	202.7
01/09/2017	10:31	0.2672	-0.1339	-0.364	16862	14.72	203.1
01/09/2017	10:36	0.2416	-0.1409	-0.371	17549	13.38	203.2
01/09/2017	10:41	0.2377	-0.0533	-0.182	18239	13.74	203.6
01/09/2017	10:45	0.226	0.0019	-0.0755	18936	14.27	203.7
01/09/2017	10:50	0.2288	-0.0051	-0.1707	19624	15.56	202.4
01/09/2017	10:55	0.175	-0.0488	-0.2522	20315	14.25	202
01/09/2017	11:00	0.1831	-0.0526	-0.2097	20957	14.98	202.4
01/09/2017	11:05	0.188	-0.0257	-0.1335	21578	16.2	201.6
01/09/2017	11:10	0.1822	-0.0624	-0.1967	22193	16.23	201.5
01/09/2017	11:15	0.1931	-0.0204	-0.1351	22791	15.33	201.5
01/09/2017	11:20	0.1749	-0.0142	-0.1658	23372	15.12	202.1
01/09/2017	11:25	0.1255	-0.0968	-0.2958	23933	16.24	203.1
01/09/2017	11:29	0.1675	-0.1934	-0.503	24479	15.03	202
01/09/2017	11:34	0.0254	-0.1951	-0.4153	25012	16.39	204
01/09/2017	11:39	0.0554	-0.1853	-0.3946	25528	15.13	203
01/09/2017	11:44	0.0648	-0.1389	-0.4093	26040	14.77	203.6
01/09/2017	11:49	0.0612	-0.1328	-0.376	26550	14.87	204.8
01/09/2017	11:54	0.0844	-0.1165	-0.3102	27052	15.72	205.5
01/09/2017	11:59	0.0749	-0.1156	-0.3148	27532	15.13	205
01/09/2017	12:04	0.0684	-0.1132	-0.3091	28019	14.98	205.7
01/09/2017	12:08	0.0667	-0.0981	-0.229	28493	14.31	206.5
01/09/2017	12:13	0.0559	-0.1007	-0.2516	28959	14.64	206.4
01/09/2017	12:18	0.0377	-0.1092	-0.1818	29403	13.86	206.4
01/09/2017	12:23	0.05	-0.1002	-0.1939	29833	14.42	206.9
01/09/2017	12:28	0.0342	-0.1189	-0.4481	30239	14.49	206.3
01/09/2017	12:33	0.0335	-0.1148	0.0192	30626	15.28	205.4
01/09/2017	12:38	0.0206	-0.1085	0.0323	31005	15.56	205.1
01/09/2017	12:43	0.0194	-0.1072	-0.0539	31366	14.67	205.6
01/09/2017	12:48	0.0274	-0.0975	-0.0994	31719	14.25	206.4
01/09/2017	12:52	0.0285	-0.0984	-0.0932	32062	14.88	205.7
01/09/2017	12:57	0.0183	-0.077	-0.0282	32408	14.23	205.7
01/09/2017	13:02	0.0252	-0.0776	-0.025	32746	14.44	205.6
01/09/2017	13:07	0.0183	-0.0834	-0.0577	33064	15.31	205.9
01/09/2017	13:12	0.0403	-0.0697	-0.0073	33378	16.97	205.6
01/09/2017	13:17	0.0448	-0.0729	-0.0525	33693	16.2	204.6
01/09/2017	13:22	0.0199	-0.0761	-0.0619	34016	14.83	204.8
01/09/2017	13:27	0.0478	-0.0382	0.0587	34375	14.85	205.6
01/09/2017	13:32	0.048	-0.0587	0.1347	34750	15.57	205.1
01/09/2017	13:36	0.0339	0.0041	0.1993	35101	15.16	205
01/09/2017	13:41	0.0496	-0.0028	0.1825	35447	15.94	206.1
01/09/2017	13:46	0.0421	-0.0111	0.1277	35794	15.22	206.1
01/09/2017	13:51	0.0404	-0.0102	0.1226	36144	15.04	206.6
01/09/2017	13:56	0.0412	-0.0213	0.0952	36497	14.41	206.6
01/09/2017	14:01	0.0504	-0.012	0.1036	36849	13.79	207.5
01/09/2017	14:06	0.0496	-0.0092	0.104	37208	15.26	207.8
01/09/2017	14:11	0.0418	-0.0123	0.0858	37572	14.51	207.1
01/09/2017	14:16	0.0233	-0.016	0.0847	37931	14.5	206.4
01/09/2017	14:20	0.0275	-0.005	0.1042	38289	14.52	206.7
01/09/2017	14:25	0.073	0.0113	0.1115	38643	14.49	205.9
01/09/2017	14:30	0.0451	0.0054	0.1243	38998	14.6	205.5
01/09/2017	14:35	0.0294	-0.002	0.1128	39348	14.86	205.6
01/09/2017	14:40	0.1197	0.0487	0.1572	39699	14.64	205.9
01/09/2017	14:45	0.0747	0.0271	0.1344	40048	14.26	206
01/09/2017	14:50	0.0648	0.0184	0.1159	40392	13.19	206.4
01/09/2017	14:55	0.0587	0.0148	0.1132	40730	13.57	207.2
01/09/2017	15:00	0.0709	0.0258	0.1028	41059	14.07	206.7
01/09/2017	15:04	0.05	0.0122	0.0897	41392	13.51	206.5
01/09/2017	15:09	0.0385	0.0099	0.0933	41712	13.2	206.8
01/09/2017	15:14	0.0347	-0.0027	0.067	42031	13.12	207.5
01/09/2017	15:19	0.0483	0.0018	0.0746	42342	12.98	208.3
01/09/2017	15:24	0.0674	0.0233	0.0994	42651	12.79	207.6
01/09/2017	15:29	0.0746	0.0132	0.0513	42948	13.34	207.5
01/09/2017	15:34	0.0195	-0.014	0.0446	43235	13.28	207.3
01/09/2017	15:39	0.0195	-0.007	-0.0112	43523	13.07	207.2
01/09/2017	15:44	0.0247	-0.0122	-0.0094	43798	13.5	207.1
01/09/2017	15:48	-0.0586	-0.0495	-0.0383	44061	13.21	207.1
01/09/2017	15:53	-0.0106	-0.0251	-0.0149	44307	13.94	207.4
01/09/2017	15:58	-0.0027	-0.0215	-0.0003	44556	13.79	207
01/09/2017	16:03	-0.0317	-0.0403	-0.0283	44795	13.33	207.2
01/09/2017	16:08	-0.0649	-0.0562	-0.047	45030	13.27	207
01/09/2017	16:13	-0.0222	-0.0314	-0.0192	45263	13.84	207.4
01/09/2017	16:18	-0.0307	-0.0265	-0.0105	45484	14.15	207
01/09/2017	16:23	-0.0325	-0.0295	-0.0245	45703	14.32	207
01/09/2017	16:27	0.0088	-0.0316	-0.0429	45911	13.6	207.1
01/09/2017	16:32	-0.0745	-0.0587	-0.0641	46123	14.05	206.7
01/09/2017	16:37	-0.0451	-0.0366	-0.0346	46335	13.97	205.9
01/09/2017	16:42	-0.0431	-0.0799	-0.1286	46543	13.55	205.9
01/09/2017	16:47	-0.0582	-0.0653	-0.0924	46753	13.08	206.6
01/09/2017	16:52	-0.0432	-0.053	-0.0714	46969	12.61	206.3
01/09/2017	16:57	-0.0743	-0.0653	-0.0801	47175	12.22	207.1
01/09/2017	17:02	-0.0842	-0.0762	-0.102	47375	12.46	207.6
01/09/2017	17:07	-0.0552	-0.0516	-0.0638	47569	12.07	207.5
01/09/2017	17:11	-0.063	-0.0499	-0.0598	47756	12.24	207.5
01/09/2017	17:16	-0.0726	-0.0527	-0.0499	48009	12.76	208
01/09/2017	17:21	-0.0728	-0.0595	-0.0613	49305	12.4	207.2
01/09/2017	17:26	-0.8621	-0.4565	-0.4798	49894	12.01	207.4
01/09/2017	17:31	-0.7634	-0.4115	-0.4247	50599	11.91	208.1
01/09/2017	17:36	-0.6639	-0.3356	-0.3216	51394	11.9	208.6
01/09/2017	17:41	-0.6418	-0.3248	-0.3178	52271	11.63	208.9
01/09/2017	17:46	-0.6418	-0.3273	-0.3151	53216	11.31	208.9
01/09/2017	17:51	-0.7021	-0.3161	-0.2666	54246	11.12	209.2
01/09/2017	17:55	-0.7435	-0.3599	-0.3349	55337	10.71	209
01/09/2017	18:00	-0.8271	-0.4049	-0.3834	56476	10.6	209.1
01/09/2017	18:05	-0.7414	-0.3486	-0.3083	57649	10.52	209.2
01/09/2017	18:10	-0.6926	-0.3083	-0.2521	58854	10.36	209.1
01/09/2017	18:15	-0.6959	-0.3309	-0.2994	60087	10.24	208.9
01/09/2017	18:20	-0.7313	-0.3441	-0.3176	61337	10.18	209.1
01/09/2017	18:25	-0.7646	-0.3596	-0.3302	62602	10.1	209.2
01/09/2017	18:30	-0.6934	-0.3448	-0.3133	63868	9.8	209.8
01/09/2017	18:35	-0.5656	-0.2412	-0.1825	65144	9.94	209.3
01/09/2017	18:39	-0.6842	-0.3139	-0.2773	66415	9.79	209.3
01/09/2017	18:44	-0.6058	-0.2764	-0.1964	67667	9.78	209.7
01/09/2017	18:49	-0.6512	-0.2912	-0.2259	68896	9.85	209.3
01/09/2017	18:54	-0.7558	-0.35	-0.297	70101	9.8	209.2
01/09/2017	18:59	-0.7319	-0.323	-0.2578	71270	9.72	209.3
01/09/2017	19:04	-0.8052	-0.3542	-0.278	72401	9.78	209
01/09/2017	19:09	-0.7342	-0.3336	-0.2819	73493	9.9	208.5
01/09/2017	19:14	-0.8422	-0.3827	-0.3328	74523	9.88	207.8

Anexo 14: Data Falla Subfase.

Date	Time	Relative[mm]	AverageVelocity[mm/h]	VelocityDelta[mm/h]	CumulativeFlags[#]	Temp[degC]	Refractivity[ppm]
09/02/2017	07:39:54	0	0	0	0	7.87	228.7
09/02/2017	07:43:58	0	0	0	0	7.87	228.7
09/02/2017	07:48:01	-0.0622	-0.0622	-0.0622	26	7.95	228.7
09/02/2017	07:52:05	-0.1527	-0.1527	-0.1527	45	7.93	228.9
09/02/2017	07:56:09	-0.3876	-0.3254	-0.2633	77	7.98	228.8
09/02/2017	08:00:13	-0.5926	-0.5304	-0.4682	126	7.92	228.8
09/02/2017	08:04:17	-0.8051	-0.6524	-0.4998	184	8.1	228.4
09/02/2017	08:08:21	-1.0078	-0.8552	-0.7025	289	8.34	228.7
09/02/2017	08:12:25	-1.1425	-0.7549	-0.3673	335	8.41	228.9
09/02/2017	08:16:29	-1.2376	-0.85	-0.4624	358	8.42	228
09/02/2017	08:20:33	-1.289	-0.6965	-0.1039	424	8.57	228.1
09/02/2017	08:24:37	-1.381	-0.7885	-0.1959	487	8.99	228.5
09/02/2017	08:28:41	-1.4643	-0.6591	0.146	556	8.88	229.7
09/02/2017	08:32:45	-1.5685	-0.7634	0.0417	613	8.98	229.3
09/02/2017	08:36:49	-1.6475	-0.6397	0.3682	704	8.93	229.3
09/02/2017	08:40:53	-1.7553	-0.7475	0.2603	808	9.1	229.3
09/02/2017	08:44:57	-1.8878	-0.7453	0.3972	858	9.16	229.5
09/02/2017	08:49:01	-1.9859	-0.8434	0.2991	926	9.22	229
09/02/2017	08:53:05	-2.092	-0.8544	0.3833	947	9.33	229.5
09/02/2017	08:57:09	-2.1917	-0.9541	0.2836	1012	9.31	229.4
09/02/2017	09:01:13	-2.2723	-0.9833	0.3057	1109	9.33	229.1
09/02/2017	09:05:17	-2.3983	-1.1092	0.1798	1218	9.1	228.2
09/02/2017	09:09:21	-2.5197	-1.1387	0.2424	1284	9.1	228.5
09/02/2017	09:13:25	-2.6399	-1.2589	0.1222	1358	9.16	228.9
09/02/2017	09:17:29	-2.7643	-1.3001	0.1642	1463	9.15	228.3
09/02/2017	09:21:33	-2.8845	-1.4202	0.044	1577	9.04	228.7
09/02/2017	09:25:38	-2.9775	-1.409	0.1595	1659	9.06	228.8
09/02/2017	09:29:42	-3.0943	-1.5258	0.0427	1760	8.87	229.4
09/02/2017	09:33:46	-3.1775	-1.53	0.1175	1868	8.95	228.9
09/02/2017	09:37:50	-3.2883	-1.6134	0.0341	2065	9.34	229.4
09/02/2017	09:41:54	-3.3387	-1.557	0.17	2346	9.8	230.4
09/02/2017	09:45:58	-3.4509	-1.5371	0.3202	2626	9.83	230.5
09/02/2017	09:50:02	-3.5019	-1.4908	0.4014	2877	10.24	230.2
09/02/2017	09:54:06	-3.6087	-1.4915	0.416	3071	10.38	230.4
09/02/2017	09:58:10	-3.7185	-1.5014	0.2731	3287	10.53	230
09/02/2017	10:02:14	-3.7811	-1.4836	0.1686	3545	10.59	229.9
09/02/2017	10:06:18	-3.8876	-1.4645	0.1025	3721	10.35	229
09/02/2017	10:10:22	-3.9992	-1.4548	0.0323	3915	10.19	228.5
09/02/2017	10:14:26	-4.0865	-1.4225	0.0505	4050	10.33	229
09/02/2017	10:18:30	-4.2154	-1.427	0.0747	4172	10.31	229.1
09/02/2017	10:22:34	-4.3432	-1.4344	0.1349	4244	10.4	228.3
09/02/2017	10:26:38	-4.3963	-1.3955	0.1743	4352	10.32	227.8
09/02/2017	10:30:42	-4.5039	-1.3865	0.2163	4479	10.65	228.6
09/02/2017	10:34:46	-4.6036	-1.4027	0.1795	4632	10.27	227.8
09/02/2017	10:38:50	-4.7006	-1.3892	0.2242	4732	10.29	227.1
09/02/2017	10:42:54	-4.7868	-1.4243	0.1327	4970	10.43	227.5
09/02/2017	10:46:58	-4.8607	-1.3867	0.1504	5149	11.23	228.8
09/02/2017	10:51:02	-4.9084	-1.3834	0.1073	5359	11.05	227.6
09/02/2017	10:55:06	-5.0348	-1.4027	0.0887	5572	11.41	227.2
09/02/2017	10:59:10	-5.1478	-1.4059	0.0955	5806	11.94	229.1
09/02/2017	11:03:14	-5.2413	-1.4363	0.0474	6015	11.55	227.3
09/02/2017	11:07:18	-5.3126	-1.4016	0.0629	6174	10.97	226
09/02/2017	11:11:22	-5.4119	-1.3895	0.0653	6363	11.46	226.7
09/02/2017	11:15:26	-5.5147	-1.4048	0.0177	6578	11.39	226.6
09/02/2017	11:19:30	-5.6149	-1.3765	0.0504	6876	12.47	226.7
09/02/2017	11:23:34	-5.7095	-1.3439	0.0905	7246	12.72	227.7
09/02/2017	11:27:38	-5.781	-1.362	0.0336	7460	14.09	226.4
09/02/2017	11:31:42	-5.8965	-1.3697	0.0168	7605	15.16	227.5
09/02/2017	11:35:46	-5.9731	-1.347	0.0557	7696	14.97	225.3
09/02/2017	11:39:50	-6.0736	-1.3505	0.0387	7834	14.84	226.6
09/02/2017	11:43:54	-6.168	-1.3586	0.0657	7976	14.69	224.9
09/02/2017	11:47:58	-6.2512	-1.3677	0.019	8109	14.4	224.9
09/02/2017	11:52:02	-6.3388	-1.4069	-0.0235	8161	14.15	224.1
09/02/2017	11:56:06	-6.4594	-1.4012	0.0015	8228	14.06	225.5
09/02/2017	12:00:10	-6.5718	-1.4006	0.0053	8340	14.31	225.8
09/02/2017	12:04:14	-6.6822	-1.4173	0.019	8479	14.63	225
09/02/2017	12:08:18	-6.7545	-1.4183	-0.0167	8641	13.79	226.4
09/02/2017	12:12:22	-6.8661	-1.4304	-0.0408	8794	13.78	226.3
09/02/2017	12:16:26	-7.0071	-1.4679	-0.0631	8958	14.68	227.5
09/02/2017	12:20:30	-7.1243	-1.4846	-0.1081	9133	15.64	227.5
09/02/2017	12:24:34	-7.216	-1.4818	-0.1378	9349	15.74	227.6
09/02/2017	12:28:38	-7.2604	-1.4551	-0.0931	9532	14.24	227.7
09/02/2017	12:32:42	-7.3341	-1.4141	-0.0443	9717	13.08	225.7
09/02/2017	12:36:46	-7.4655	-1.4679	-0.1209	9855	13.45	227.3
09/02/2017	12:40:50	-7.5202	-1.4229	-0.0724	9996	13.14	225.6
09/02/2017	12:44:54	-7.5693	-1.3783	-0.0196	10147	13.19	228.5
09/02/2017	12:48:58	-7.6528	-1.3786	-0.0109	10250	13.42	227
09/02/2017	12:53:02	-7.7438	-1.382	0.0249	10319	13.75	228.1
09/02/2017	12:57:06	-7.8377	-1.3557	0.0455	10474	13.37	229.9
09/02/2017	13:01:10	-7.8953	-1.3018	0.0988	10608	12.43	231.3
09/02/2017	13:05:14	-7.9744	-1.271	0.1463	10744	11.4	232.2
09/02/2017	13:09:18	-8.0808	-1.3045	0.1138	10811	9.52	230
09/02/2017	13:13:22	-8.5171	-1.6239	-0.1935	11673	9.45	230.1
09/02/2017	13:17:26	-8.5157	-1.4839	-0.016	11673	7.82	229.7
09/02/2017	13:21:30	-8.5157	-1.3685	0.1161	11673	6.34	226.2
09/02/2017	13:25:34	-8.5157	-1.2783	0.2034	11673	6.36	225.9
09/02/2017	13:29:38	-8.6785	-1.3949	0.0602	11505	6.26	225.8
09/02/2017	13:33:42	-8.8142	-1.4558	-0.0417	11762	6.83	225.9
09/02/2017	13:37:46	-8.9651	-1.4751	-0.0072	12258	7.07	227.1
09/02/2017	13:41:50	-8.9773	-1.4332	-0.0103	12679	6.82	226.9
09/02/2017	13:45:54	-8.9819	-1.3895	-0.0112	130473	6.89	226.8
09/02/2017	13:49:58	-9.1133	-1.4366	-0.0579	132965	7.12	227.4
09/02/2017	13:54:02	-9.0864	-1.3206	0.0614	134892	7.12	227.5
09/02/2017	13:58:06	-9.0458	-1.1884	0.1673	136449	7.38	227.5

Date	Time	Relative[mm]	AverageVelocity[mm/h]	VelocityDelta[mm/h]	CumulativeFlags[#]	Temp[degC]	Refractivity[ppm]
09/02/2017	14:02:10	-9.0173	-1.1036	0.1982	37942	7.45	228.1
09/02/2017	14:06:14	-8.9088	-0.9191	0.3519	39558	7.25	227.8
09/02/2017	14:10:18	-8.9103	-0.8159	0.4886	40897	7.21	227.8
09/02/2017	14:14:22	-9.0227	-0.4973	1.1266	42040	7.2	227.8
09/02/2017	14:18:26	-9.0873	-0.5622	0.9216	43027	7.47	227.8
09/02/2017	14:22:30	-9.2852	-0.7569	0.6116	43734	7.9	228.4
09/02/2017	14:26:34	-9.5557	-1.023	0.2553	44364	8.4	229
09/02/2017	14:30:38	-9.9232	-1.2243	0.1707	45011	9.14	230.4
09/02/2017	14:34:42	-10.3319	-1.4928	-0.0371	45596	8.75	230.5
09/02/2017	14:38:46	-10.6485	-1.6558	-0.1807	46157	8.45	230.6
09/02/2017	14:42:50	-10.96	-1.9502	-0.5171	46789	8.12	229.9
09/02/2017	14:46:54	-11.3665	-2.3454	-0.9559	47704	8.58	229.6
09/02/2017	14:50:58	-11.4589	-2.3071	-0.8706	48620	9.37	230.5
09/02/2017	14:55:02	-11.739	-2.6091	-1.2885	49459	9.13	231.8
09/02/2017	14:59:06	-11.7856	-2.6948	-1.5065	50194	9.26	231.6
09/02/2017	15:03:10	-11.9183	-2.8535	-1.7499	50821	9.17	231.7
09/02/2017	15:07:14	-12.2713	-3.3074	-2.3883	51343	8.79	231.5
09/02/2017	15:11:18	-12.4852	-3.5163	-2.7003	51834	8.79	230.8
09/02/2017	15:15:22	-12.7019	-3.6189	-3.1216	52489	8.82	230.8
09/02/2017	15:19:26	-13.1181	-3.9648	-3.4025	52956	8.99	230.9
09/02/2017	15:23:30	-13.5402	-4.1853	-3.4284	53395	9.1	231.2
09/02/2017	15:27:34	-13.8453	-4.2193	-3.1963	53824	9.44	231.5
09/02/2017	15:31:38	-14.3859	-4.3895	-3.1653	54340	9.16	232
09/02/2017	15:35:42	-14.7075	-4.3038	-2.811	54971	8.93	230.5
09/02/2017	15:39:46	-15.0414	-4.3209	-2.6651	55643	8.87	230.5
09/02/2017	15:43:49	-15.2332	-4.2043	-2.2541	56338	8.68	230.4
09/02/2017	15:47:53	-15.4495	-4.0172	-1.6717	56909	8.42	230.2
09/02/2017	15:51:57	-15.6634	-4.1367	-1.8295	57417	8.44	229.8
09/02/2017	15:56:01	-15.9852	-4.1777	-1.5686	57837	8.34	229.4
09/02/2017	16:00:05	-16.1347	-4.279	-1.5841	58344	8.42	229.5
09/02/2017	16:04:09	-16.3371	-4.3475	-1.494	58853	8.88	229.9
09/02/2017	16:08:13	-16.4551	-4.1163	-0.8089	59251	9.16	231
09/02/2017	16:12:17	-16.6562	-4.1038	-0.5875	59647	9.2	231.7
09/02/2017	16:16:21	-16.8229	-4.0545	-0.4357	60077	9.13	231.7
09/02/2017	16:20:25	-16.9467	-3.7669	0.1979	60470	9.07	231.4
09/02/2017	16:24:29	-17.0899	-3.4925	0.6928	60936	8.98	230.4
09/02/2017	16:28:33	-17.2726	-3.372	0.8473	61606	8.74	224.7
09/02/2017	16:32:37	-17.4462	-3.011	1.3785	62381	8.64	225
09/02/2017	16:36:41	-17.6451	-2.8902	1.4136	63061	8.6	225.4
09/02/2017	16:40:45	-17.8142	-2.7281	1.5928	63793	8.52	225.9
09/02/2017	16:44:49	-17.9906	-2.7121	1.4922	64284	8.49	225.3
09/02/2017	16:48:53	-18.119	-2.6258	1.3914	64834	8.61	224.3
09/02/2017	16:52:57	-18.2447	-2.539	1.5977	65354	8.59	226.2
09/02/2017	16:57:01	-18.2954	-2.2723	1.9054	65876	8.49	227
09/02/2017	17:01:05	-18.4354	-2.263	2.016	66586	8.25	227.3
09/02/2017	17:05:09	-18.4628	-2.0909	2.2566	67235	8.08	227.4
09/02/2017	17:09:13	-18.5198	-2.0308	2.0854	67942	7.97	227.1
09/02/2017	17:13:17	-18.4058	-1.7209	2.3828	68710	7.86	226.8
09/02/2017	17:17:21	-18.3339	-1.4863	2.5683	69451	7.86	226.5
09/02/2017	17:21:25	-18.2846	-1.316	2.4508	70325	7.77	225.9
09/02/2017	17:25:29	-18.3191	-1.209	2.2834	71085	8.02	224.4
09/02/2017	17:29:33	-18.3739	-1.0833	2.2887	71784	8.34	223.2
09/02/2017	17:33:37	-18.3715	-0.9101	2.1009	72550	9.02	221.2
09/02/2017	17:37:41	-18.3584	-0.7017	2.1885	73337	9.27	219.6
09/02/2017	17:41:45	-18.3518	-0.5287	2.1994	73995	8.97	221
09/02/2017	17:45:49	-18.5216	-0.5223	2.1899	74557	8.87	222.7
09/02/2017	17:49:53	-18.5634	-0.4371	2.1887	75108	9.13	221.5
09/02/2017	17:53:57	-18.6801	-0.4283	2.1107	75647	9.36	218.9
09/02/2017	17:58:01	-18.7236	-0.4211	1.8511	76102	9.59	218.8
09/02/2017	18:02:05	-18.7213	-0.2812	1.9818	76640	9.67	217.2
09/02/2017	18:06:09	-18.7833	-0.3152	1.7757	77128	9.64	217.9
09/02/2017	18:10:13	-18.8702	-0.3447	1.6861	77676	9.69	218
09/02/2017	18:14:17	-18.8006	-0.3883	1.3327	78177	9.42	219
09/02/2017	18:18:21	-18.9997	-0.6549	0.8314	78703	8.9	219.6
09/02/2017	18:22:25	-19.163	-0.8639	0.4521	79200	8.37	221.3
09/02/2017	18:26:29	-19.4493	-1.1117	0.0973	79659	8.07	222.4
09/02/2017	18:30:33	-19.9136	-1.5144	-0.4312	80145	7.87	223.2
09/02/2017	18:34:37	-20.4095	-2.0045	-1.0944	80761	7.79	223.3
09/02/2017	18:38:41	-21.1437	-2.7396	-2.0379	81116	7.95	222.9

Anexo 15 :Constancia de uso de información de la DATA de colapsos del 2017 del área de Geotecnia de Minera Yanacocha.

CONSTANCIA

Ing. Alex Marinovic Pulido.

Coordinador Académico de la carrera de Ingeniería de Minas – UPN.

Por medio de la presente, el que suscribe Superintendente del área de Ingeniería Mina Geotecnia, Ing. Félix Eduardo García Prado, identificado con código de fotocheck N°01100377, CERTIFICO QUE:

Las inestabilidades geotécnicas denominadas "Sub fase" y "Shingo", ocurridas en los meses de marzo y septiembre del año 2017 respectivamente, en el tajo abierto El Tapado Oeste de la mina Yanacocha y que fueron materia de estudio con fines de Tesis de Grado, a cargo de la Srta. Rosa Alexandra De La Cadena Julón, efectivamente su trabajo académico fue desarrollado bajo nuestro auspicio y apoyo en cuanto a la data de campo necesaria para sus estudios de investigación.

Por otro lado, comentamos que la inestabilidad "Sub fase" actualmente ya no existe puesto que fue minada y en cuanto a "Shingo", actualmente se encuentra remediada, mostrando un comportamiento dentro de los parámetros de evaluación.

Atentamente,


Félix Eduardo G.
Superintendente Ingeniería
Minera Yanacocha S.A.
Félix Eduardo García Prado
Fotocheck: 1100377